GESAMTBERICHT

ZWEITE WELTKRAFTKONFERENZ

TRANSACTIONS

SECOND WORLD POWER CONFERENCE

COMPTE RENDU

DEUXIÈME CONFÉRENCE MONDIALE DE L'ÉNERGIE

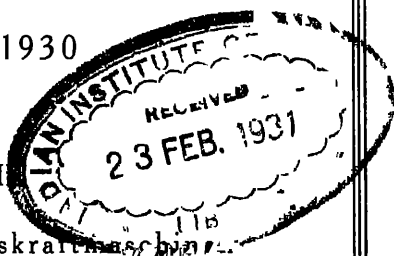
BERLIN 1930

BAND VI

Öle und Verbrennungskraftmaschinen

Oil Production and International Combustion Engines

Huiles et moteurs à combustion interne

VDI-VERLAG GMBH
BERLIN NW 7

Schriftleitung — Editors — Rédacteurs

Dipl.-Ing. F. zur Nedden

Dr.-Ing. C. Th. Kromer

BAND VIII

INHALTVERZEICHNIS

TABLE OF CONTENTS

TABLE DES MATIÈRES

Section 28

Gewinnung von natürlichen und künstlichen Ölen, ihre Umwandlung und die Eigenschaften der Motortreibstoffe

Production of Natural and Synthetic Oils, their Treatment and the Properties of Motor Fuels

Production d'huiles naturelles et artificielles, leur transformation et les propriétés des carburants pour moteurs

Section 29

Ortsfeste Verbrennungsmotoren und Verbrennungsmotorforschung

Stationary Internal Combustion Engines and Research Work in this Connection

Moteurs à combustion interne fixes et recherches dont ils ont fait l'objet

Section 30

Flugzeug- und Fahrzeugmotoren
Aircraft and Automobile Engines
Moteurs d'avions et d'automobiles

Nr. Seite/Page

Section 28

GEWINNUNG VON NATÜRLICHEN UND KÜNSTLICHEN ÖLEN, IHRE UMWANDLUNG UND DIE EIGENSCHAFTEN DER MOTORTREIBSTOFFE

PRODUCTION OF NATURAL AND SYNTHETIC OILS, THEIR TREATMENT AND THE PROPERTIES OF MOTOR FUELS

PRODUCTION D'HUILES NATURELLES ET ARTIFICIELLES, LEUR TRANSFORMATION ET LES PROPRIÉTÉS DES CARBURANTS POUR MOTEURS

Vorsitzender | Chairman | Président

Prof. C. D. Busila (Rumänien)

Stellvertr. Vorsitzender | Vice Chairman | Vice-Président

Prof. P. Kogerman (Estland)

Beisitzer | Assistant | Assesseur

Prof. Dr.-Ing. W. Wilke (Deutschland)

Generalberichterstatter | General Reporter | Rapporteur Général

Dr. K. Sohn (Deutschland)

United States of America

Volatile Liquid Fuels

Bureau of Standards

H C. Dickinson

The discussion of fuels in this paper will be confined to those products which are adaptable to start and operate engines of the usual carbureting type; in other words, such products as gasoline, engine distillate and others which can serve the same purpose.

By far the most important of these fuels, in fact the only one which has very wide commercial use in the United States at present is what is generally classed as gasoline, a product derived from natural or synthetic crude petroleum or by recovery from natural gas. Small amounts of coal tar distillates such as benzol are used as motor fuel, mainly as blends with gasoline. Engine distillate is used to some extent, being a product of naphthene base crude oils which, while not sufficiently volatile to be acceptable for use in most passenger cars, is used in heavy duty service, in tractors, trucks and the like.

Gasoline as marketed in the United States has had a varied history. Previous to 1900 large quantities of naphtha too volatile to pass the flash test for kerosene or burning oil were produced by refineries in the eastern part of the country as a by-product of kerosene production. No adequate market existed for these products which were difficult to store and ship under conditions then existing. This "naphtha" was used to some extent for domestic cooking, for open burner lighting and for the production of gas in small local plants by mixture with air.

It was not until the general introduction of motor vehicles that this by-product of petroleum acquired commercial importance. The year 1904 may be termed the beginning of the automobile industry as an important commercial factor. In that year there were produced in the United States 290640000 gallons of gasoline, while in 1916 the production had increased to 2059000000 or about seven times that amount, and in 1929 about 18000000000 gallons or 62 times that in 1904.

Statistics prepared by the Bureau of Mines and summarized in Table I, include gasoline production and motor vehicle registration from the year 1916 to 1929 These figures are self explanatory representing the phenomenal rise in the use of motor fuels The fifth column of the table, however, is of special interest as it shows the steady increase since 1916 in the amount of gasoline produced per barrel of crude oil

Table I Data on Production of Crude Oil, Refinery Production of Gasoline, Registration of Cars and Trucks and Gasoline Prices for the 14 Year Period 1916 to 1929 inclusive.

Year	(a) Production of crude oil Bbl (42 gal.)	(d) Crude oil run to stills Bbl (42 gal)	(d) Production of gasoline, gallons	Yield of gasoline, per cent	(d) Indicated domestic demand for gasoline, gallons	(b) Registration of cars and trucks	Gallons of gasoline per car, based on mean number of cars registered at beginning and end of year	(c) Average tank wagon (wholesale) price of gasoline New York City, cts per gallon
1916	300 767 000	246 992 015	2 058 880 596	19.8	—	3 512 996	—	23.0
1917	335 316 000	315 131 681	2 850 546 423	21 6	2 363 230 401	4 983 340	556	23.8
1918	355 928 000	326 024 630	3 570 312 963	26 1	3 129 266 347	6 146 617	562	24.2
1919	378 367 000	361 520 153	3 957 857 097	26 1	3 434 812 486	7 565 446	501	24.5
1920	442 929 000	433 915 029	4 882 546 699	26 8	4 250 696 163	9 231 941	506	29 3
1921	472 183 000	433 362 657	5 153 549 318	27.7	4 516 027 256	10 463 295	459	26 1
1922	557 531 000	500 705 616	6 202 234 613	29 5	5 372 085 042	12 238 375	473	25.1
1923	732 407 000	581 237 816	7 555 945 143	30 9	6 685 035 280	15 092 177	489	20.7
1924	713 940 000	643 719 349	8 959 680 220	33 1	7 783 498 908	17 591 981	476	18.0
1925	763 743 000	739 920 000	10 903 242 000	35 1	9 402 330 000	19 937 274	501*	19.6
1926	770 874 000	779 264 000	12 789 206 000	38.5	10 996 146 000	22 001 393	524*	19.9
1927	901 129 000	828 835 000	13 878 270 000	39.9	12 465 894 000	23 133 241	552*	18.7
1928	901 474 000	913 295 000	15 831 690 000	41 3	13 786 538 000	24 493 124	579*	17.4
1929	1 005 598 000	987 708 000	18 238 122 000	43.9	15 617 784 000	—	—	—

* Basing total gasoline consumption on tax sales, which is probably more accurate, the annual consumption per car since 1924 is estimated to be as follows 1925 458, 1926 494, 1927 539, 1928 512

(a) Data from U S Geological Survey and U S Bureau of Mines
(b) Data from U S Bureau of Public Roads
(c) Data from U S Department of Labor
(d) Data from reports of Refinery Operations — U.S Bureau of Mines.

Refinery Processes

Beginning with the important demand for gasoline as motor fuel about 1904, and continuing to about 1916, gasoline was produced mainly by straight distillation from crude oils supplemented in the latter part of this period by the recovery of "casing head" gasoline from gas wells. The latter, however, was used only as blended with "straight run" gasoline. By these processes the average yield of gasoline was approximately 20 per cent of the crude oil used, as calculated from over all figures.

In this period gasoline was marketed to the public almost exclusively as a single product without other designation than gasoline. Brands and trade marks were almost unknown Under these conditions the qualities of the product were largely controlled by the availability of the various constituents which made up the finished product.

In general, the heavier constituents increased as the demand exceeded the supply of the lighter constituents, until it became necessary to provide means for heating the intake manifold of motor vehicle engines to afford sufficient vaporization for satisfactory service

The general trend of gasoline production and marketing since 1916 has changed radically. About this time the production of gasoline by cracking of heavier hydrocarbons began to develop, gradually at first, until in 1924 the amount of gasoline produced by cracking processes exceeded one fourth (26,4%) of the total production. At present "cracked" gasoline represents about 33% of the total product At the same time the recovery of gasoline from natural gas had somewhat more than kept pace with the total output of motor fuel. Natural gasoline represented about 7,6% of the total in 1924, and at present the percentage is about 10%.

From the point of view of the general purchaser an even more marked change has taken place in the general marketing of motor fuels under special brands. This marketing policy was generally adopted by the industry about 1920 and has become almost universal practice.

The custom, now almost universal in the United States, of marketing motor fuels to the user from roadside metering pumps may have been either a cause or a result of the marketing practice referred to above. The pumps often remain the property of the marketing company whose product they advertise and dispense, not the property of the local station where they are located.

Grades of Gasoline

These radical changes in marketing practice have been accompanied by corresponding changes in the character of the fuels sold to the public. Here again it is futile to speculate as to which is cause and which is effect. The marketing of trade marked brands naturally fosters competition, either in price or in quality, on the other hand, the demands of the public for better performance of motor vehicles has encouraged refiners to study these demands and produce superior fuels which they must then advertise on their merits.

As a result of these developments there are now marketed in the United States under a great many trade names several rather distinct classes of gasolines or motor fuels. These may be classed first as ordinary or "straight" gasolines and as "premium" gasolines. The former are generally sold at a current price which is usually almost uniform in any locality for all gasolines of this class. The premium gasolines on the other hand are of two sorts, which may be classified either as (1) "high-test" or as (2) "high-compression" or "anti-knock" gasolines. The prices obtained for such fuels may vary considerably in any locality. Only those gasolines which are more volatile than the ordinary grade are entitled to be called high-test, and gasolines of this class are usually designed for easier engine starting. On the other hand, gasolines which do not knock readily should be called high-compression or anti-knock gasolines Anti-knock gasolines include, in general, gasolines made from certain petroleums, gasolines made by certain refining processes, such as cracking; gasolines blended with benzol, and gasolines containing tetraethyl lead (ethyl gasolines).

Marketing of these various classes of gasolines has made imperative an adequate knowledge of how the fuel behaves in the engine, in order that there may be a mutual adaptation of the fuel to the engine and the engine to the fuel

Cooperative Fuel Research and its Results

Previous to 1920, no systematic attempt had been made to determine, with any degree of certainty, the characteristics of volatile liquid fuels which are important as regards their use in motor vehicle engines, with the possible exception of studies made in the "altitude laboratory" at the Bureau of Standards on aviation gasoline. These studies dealt mainly with the relation of fuel volatility to maximum h.p and led to the conclusion that the maximum h p of aircraft engines was not measurably affected by changes of fuel volatility within the range suitable for aircraft use.

Commercial gasoline in 1920 had become a fuel of that brand described as "the cheapest hydrocarbon which could be made to start and operate a motor vehicle engine" There was much severe criticism by automotive engineers as well as by the public regarding the quality of this product, and criticism by petroleum refiners of the design of motor vehicle engines which did not give satisfaction when operated on the current fuel supply. As a result of this mutual criticism, there was instituted in 1921 a joint research project which has had an important effect on the motor fuel situation

The American Petroleum Institute represents both the technical and the commercial phases of the petroleum industry in the United States. The National Automobile Chamber of Commerce represents the commercial phase of motor vehicle production. These two organizations established a joint research fund to be administered by the Society of Automotive Engineers representing the technical interests of the automotive industry and, to a large extent, of the petroleum industry as

well. Most of the research work accomplished under this fund has been done at the Bureau of Standards where funds from the industry have been about duplicated by federal appropriations. A joint steering committee, consisting of representatives of both industries and the Bureau of Standards, was appointed to confer on program and pass upon the results. A summary of the results obtained to date on the major projects undertaken is outlined briefly in the following sections.

a. Fuel Volatility and Economy

The first project undertaken under the joint arrangement was to determine what was the best gasoline as regards volatility, considered on a broad economic basis, in other words, what grade of gasoline would afford the maximum number of car-miles of transportation per barrel of crude oil used in its production. This question obviously could not be answered in the laboratory alone. It did not suffice to know how much more efficiently an ideal engine in the laboratory could be run on one fuel than on another, it was necessary to know how much more of one kind of fuel than of another the average driver would use on the road This difference multiplied by the total number of cars in the Country might be expected to give the difference in National consumption of the two fuels. This figure, together with an estimate of the difference in cost of the two fuels, would answer the question.

The problem was attacked from two angles; first, four test fuels designated A, B, C, and D, covering the practical range of volatilities, were specified for experimental purposes and made up in quantity by two refineries, one in the Mid-West and one in the East. For the first angle of attack, passenger cars of four types were selected, these four types representing about 75% of the total number of cars in service in the country at that time. One used car of each type, which had been run from one to two years, was secured for a test program at the Bureau of Standards. These cars were put through a most exhaustive series of tests for average fuel consumption with each of the four different fuels under road conditions. The details of this program were carefully considered by the steering committee as well as by the Bureau of Standards staff to be sure that the results would be truly typical of average driving conditions. The program consisted of one series of tests in summer with all four cars and another complete series in winter with two of the cars

For the second angle of attack, which was put through mainly by the Research Department of the Society of Automotive Engineers, 10 automobile manufacturing companies were enlisted in two road-test programs, one run in summer and another in winter. Each company selected a group of 4 to 12 cars driven in regular service by members of its staff, and purchased enough of the four test fuels to supply the group of selected cars for at least four weeks. Each of these cars was supplied with one of the experimental fuels for one week, another for the second week, and so on, according to a carefully prearranged program designed to average-out weather conditions and individual differences Thus,

each series of tests for each company lasted four weeks. The total number of car-weeks was about 250 for the summer series. The following winter this entire program was repeated under cold-weather conditions, the group of companies not being quite the same for the two series

Thus there were two distinct projects, each covering both a winter and a summer schedule. One of these was run by the Bureau of Standards under road conditions, but with laboratory precision, the other by ten or more individual companies involving about 150 cars which were driven by their owners in ordinary service. In no case did the driver of the car know which one of the four test fuels was being used at any particular time.

When the results of all these four independent series of tests had been collected, the following conclusions were reached:

1. Within the range covered by the test fuels, the number of ton-miles per gallon is independent of the fuel volatility. Consequently, the heaviest fuel was the most economical. (Federal specifications for motor gasoline were modified on the strength of this result.)
2. Gasoline consumption is somewhat greater in winter than in summer.
3. Dilution of crankcase oil is consistently greater the heavier or less volatile the fuel.
4. Dilution of crankcase oil is much greater in cold weather than in warm weather.
5. Small apparent differences in initial fuel volatility have a large effect on engine starting.
6. Starting ability is the quality most readily noted by the driver

From this survey it was concluded that economy dictates the use of as heavy a fuel as possible but that a practical limit in this direction is set by the dilution of crankcase oil and the difficulty of starting.

b Dilution of Crankcase Oil

The committee then decided to make a study of crankcase oil dilution. Data were already at hand from the analysis of samples secured in the tests mentioned. A carefully arranged program on this subject, covering nearly two years of work at the Bureau of Standards, led to the following general conclusions:

1 Dilution depends upon the temperature of the engine cylinder walls and upon the volatility of the gasoline, the 90% point on the A.S T M. distillation curve being taken as an index of volatility.

2. Dilution increases with richness of mixture.

3. Dilution decreases with higher temperature in the crankcase, particularly when the crankcase is ventilated

4 Dilution is not much affected by air temperature, piston and piston ring fit, or oil viscosity.

As the Bureau's work on fuel consumption was supplemented by the road service tests mentioned, the laboratory results on dilution were likewise supplemented by the analysis of some 600 samples of used crankcase oils. These samples were collected by the Research Depart-

ment of the Society of Automotive Engineers according to a carefully prepared schedule from typical makes of cars distributed throughout the country In the course of this work, there were developed two very satisfactory methods for measuring crankcase oil dilution, one of which was standardized by the American Society for Testing Materials (A.S.T.M).

c. *Engine Starting*

The results mentioned in connection with the economy tests indicated that the volatility of the gasoline in the initial portion of the distillation range, in its effect on starting, was the characteristic most readily recognized by the user. This led to undertaking the third major portion of the program, namely the effect of initial volatility on engine starting. A long series of engine starting tests were performed in the laboratory and on the basis of an extensive study of fuel volatility, which will be discussed in the following section, it was found possible to correlate the results of the engine starting tests with the standard A S T.M. distillation tests on the same fuels. The general conclusion regarding fuel volatility and ease of engine starting can be stated somewhat as follows

Given a fuel of which the distillation data are known and an engine equipped with a choke mechanism which will enable a 1 to 1 fuel-air mixture or any other known mixture to be supplied by the carburetter, then one can state the minimum temperature at which that engine-fuel combination will start in a given number of revolutions of the crankshaft, for example 10 revolutions; also, the minimum temperature at which the engine can be started at all.

This result makes it possible for the first time to select or specify a fuel which will give proper starting under any specified conditions, assuming, of course, that the engine is in reasonably good mechanical conditions and that the crankcase oil is not too viscous. For most American cars, the lowest temperature for easy starting is about 140° F below that at which 10% of the gasoline is evaporated in the A.S.T M. distillation test. This information permits securing uniform starting conditions through better control of engine starting devices and of fuel volatility, in relation to temperature.

d. *Fuel Volatility*

Whereever feasible during the cooperative work, laboratory fuel tests were conducted on the same gasolines as were being used in the engine tests. Since volatility affects a number of different phases of engine performance, a method was devised for measuring the volatility of fuels under conditions simulating those in the engine manifold. In actual practice, vaporization in the intake air stream depends upon manifold design so that for comparability, the laboratory tests were conducted in an "ideal type" of manifold

A long series of volatility tests were conducted on a large number of diverse gasolines and blends, which led to the following conclusions.

1. The standard A S T M. distillation test is a satisfactory and simple criterion for the evaluation of volatility Hence, given distillation data

on a gasoline, the volatility at any percentage evaporated can be obtained.

2. Ease of engine starting for types of cars used in the United States is determined by the 10% A.S.T.M point, correction being made for distillation loss. The initial boiling point is of no significance in this respect.

3. The temperature of complete evaporation, the dew point, is determined by the 90% A.S.T.M. point. The end point in the distillation test gives no information about the dew point.

One of the outstanding features of the investigation of fuel volatility has been the added significance which it has given to the A.S.T.M. distillation test, thereby making it possible to specify certain A.S.T M. points in order to ensure satisfactory engine performance This will be discussed in more detail under specifications

e. Engine Acceleration

Another phase of the cooperative work was concerned with the effect of fuel volatility on acceleration and general behavior of the engine. For this work, a portable spark accelerometer, costing a comparatively small amount to construct, was designed with which engine acceleration could be measured as precisely as variations in other engine factors warranted It is especially adapted to studies of the effect of manifold design on acceleration, and of the proper apportioning of the quantity and rate of injection of accelerating charges.

Engine tests were made with a considerable number of fuels on a variety of engines at the Bureau of Standards and at the laboratories of a number of automotive organizations. This work has not yet been completed but in general, it appears that in a given engine, the effectiveness of the fuel for producing acceleration is dependent upon the A.S.T.M. distillation curve, better acceleration being obtained with a more volatile fuel at constant carburetor setting, if too rich a mixture is not used. Manifold design may have an important effect on absolute acceleration, but its effect on the relative accelerations with a group of fuels is not very marked at idling speeds and at the same manifold temperatures when using the same air-fuel ratio for each fuel, appropriately chosen for each engine. At higher speeds, the order of the results may be reversed if the mixture is not adjusted for each fuel at each engine speed. On the other hand, manifold temperature and carburetor setting could probably be chosen in each case so as to give the same acceleration with each fuel.

f. Vapor Lock

The increasing use of natural gasoline or casing head gasoline for blending with refinery naphtha in order to increase the starting volatility has given rise to a new problem in engine performance. If the fuel is too volatile, the gasoline will boil in the feed lines with consequent interruption of fuel flow and engine stoppage. The two effects — ability to start the engine and ability to keep the engine running when warmed up — impose limits on the practical operating range of fuel

temperatures in the fuel feed system. This practical range is about 140° F for automobiles and similar motor vehicles. In the case of airplanes, the temperature at which boiling may occur becomes lower as the height above the ground increases, due to decrease in the atmospheric pressure. An allowance must be made for a decrease in the practical operating range of about 2° F for every 1000 feet altitude above sea level.

About one year and a half has been spent in an experimental study of the vapor lock problem both from the fundamental aspect of vapor pressures and from the standpoint of the conditions under which vapor lock actually occurs in typical fuel feed systems. The investigation to date has been confined to airplane fuel systems but an extension to automobile systems is contemplated. Some information has been obtained on the temperatures existing at various points in airplane fuel feed systems during flight.

The practical conclusions which have tentatively been reached can be summarized as follows.

1. The property of a gasoline which determines the tendency to vapor lock is the temperature at which the vapor pressure of the gas-free gasoline equals the external pressure on the fuel. For automobiles, this temperature is the 10% A.S.T.M distillation point of the gasoline. For an airplane at 18000 feet, the vapor-locking temperature is about 33° F lower than the 10% point. Some fuels containing undesirable amounts of propane may cause vapor lock at lower temperatures than those predicted and some poorly designed fuel systems may also result in interruption of flow at lower temperatures due to trapping of gases which come out of solution.

2. It is undesirable to use a fuel which has a much lower 10% point than that required for easy starting at the lowest temperature likely to be encountered. This may make it desirable to use different grades of gasoline for certain types of operating conditions.

3. The temperature of the liquid fuel should not exceed the vapor locking temperature, which in automobile systems, is the 10% point of the gasoline. Fuel lines should be so designed and installed that they will meet this requirement with a reasonable margin of safety for variations in existing fuels

4. The presence of more than small amounts of propane in the gasoline is undesirable from the standpoint of vapor lock.

It is hoped that the vapor lock investigation will give much information of value on the design and installation of fuel feed systems in both airplanes and automobiles, and on the types of fuels which are satisfactory for use in existing systems.

g Knock Characteristics of Fuels

The latest of the cooperative fuel research projects and the one now occupying most of the time of the Bureau staff is that of deciding upon satisfactory apparatus and technique for the measurement of the knock characteristics of fuels.

High compression engines are much more efficient than low compression engines, but aviators and motor car drivers soon learned that many gasolines knock very badly in high compression engines Unless suitable fuel is used in such engines, detonation and preignition will occur. Detonation always results in a loss of power, an increase in fuel consumption and a tendency for the engine to overheat Many anti-knock gasolines, usually sold at a premium, have appeared on the market during the last few years which have made possible a steady increase in the average compression ratio of motor vehicle engines. However, no entirely satisfactory test method has as yet been devised for rating fuels as to their tendency to detonate.

About 1917 and 1918, the Bureau of Standards commenced a study, for the Army and the Navy, of the difficulties encountered with high compression aircraft engines. In the years immediately following this period a large number of industrial organization, as well as the Bureau of Standards, developed methods for routine knock testing, which were quite diverse as regards engine equipment and methods of test. Detonation surveys were made in which tests were carried out on the same fuels by a number of cooperating laboratories, using their individual equipment and technique. The results of these surveys indicated a general lack of agreement of the anti-knock values as obtained by the various cooperating laboratories.

In order to eliminate one of the probable causes of this lack of agreement, the cooperative fuel research steering committee appointed a special subcommittee early in 1928 to design "a composite engine representing average detonation requirements that may be recommended as a standard device for use in determining the detonation characteristics of motor fuels." The Bureau of Standards and seven other laboratories are represented on this Detonation Subcommittee, which proceeded at once to design a test engine A number of these engines have been built and distributed to each of the eight cooperating laboratories, as well as to several English laboratories who have been added to the original group. At the present time, (1930) an identical series of tests is being made on these engines by all of the laboratories using a group of six diverse fuels to determine whether the engine in its present form can be recommended for use as a tentative standard test engine. When the engine is satisfactory for such a purpose, the development of a suitable test procedure will be undertaken by all laboratories who are actively interested in the problem. This work is being pushed as rapidly as possible on account of its vital importance to the petroleum, automobile and aircraft industries

In summarizing the cooperative work, it should be emphasized that the fuel research project, on which the automotive and petroleum industries have spent about $ 4500 per year, each, has brought the engineering staffs of the two industries into accord, has contributed largely to fuel saving for the country; has afforded all the technical data needed to combat crankcase dilution, which data have been well utilized; has afforded complete data on the relationship of fuels to

engine starting, which have not yet been fully utilized; has cleared up the question of the effect of fuel on engine acceleration; has furnished valuable information on vapor lock; and is now concerned with securing a satisfactory technical control over the relationship between fuels and engine compression ratios.

One development which probably has been influenced to a large extent by the contacts between automotive and petroleum engineers in connection with the cooperative fuel research, is the establishment of fuel research laboratories by most of the larger oil companies. In 1922 there was not so far as we know, a single laboratory in the petroleum industry, and perhaps only one or two in the automotive industry, equipped for effective study of the relationship of fuel characteristics to engine performance. Today few large companies in the oil industry are without such laboratories and at the present rate soon there will be none.

Gasoline Specifications

Purchase of gasoline on specification by the United States Government dates back to about 1918. These specifications have been modified from time to time to follow the trend of development in the petroleum and automotive industries and to incorporate such advances in knowledge as have resulted from the research program discussed above. At the present time (1930), the specifications controlling government purchase of gasoline are also in force in a number of the states through local legislation. As a result of this fact and of the generally satisfactory character of the specifications, they have become the commonly accepted trade standard for gasolines not marketed at a premium on a quality basis.

Of the several specification requirements the most obvious is volatility or the ease with which the fuel is evaporated Volatility is usually tested by distillation of the fuel under standard conditions, which are fully described by the American Society for Testing Materials, and are essentially those of the Engler distillation method. After several year's work on the subject, this test has been so well related to performance of the fuel in the engine that, given the requirements of the engine, the desired volatility can be determined by the laboratory test The next question therefore, is what does the engine require of a fuel in order that it may perform properly in an engine under all sorts of conditions ?

The main items in this catalogue of requirements are somewhat as follows.

1. The engine must start, which requires that enough of the fuel vaporize at the existing temperature to form an explosive mixture. Since only the lighter fractions of the gasoline will vaporize at starting temperatures, and since the lower the temperature, the less will vaporize, excess fuel must be added to supply enough of the lighter portions to produce an explosion. With the cars in use in the United States, it is possible to supply in starting a mixture richer on the average than

1 pound of fuel per pound of air. Allowing a reasonable margin of safety, it has been found that the minimum temperature at which starting can be accomplished in 10 crankshaft revolutions is determined by the temperature at which 10% of the gasoline is evaporated in the standard A S.T M. distillation test. Accordingly a maximum temperature is specified for the 10% A S.T.M. point.

Table II.

10% A S T M		Starting Temp
° C	° F	° F
40	104	—22
50	122	— 9
60	140	1
70	158	12
80	176	23

Table II gives the practical starting temperature for a series of gasolines used in American cars. From this it is shown that different grades of gasoline well may be used at different seasons of the years. In January or February a gasoline with 10% off at 104° or 122° F might be desirable, whereas in July one with 10% off at 176° F might be preferable. The latter might be cheaper and certainly would be less liable to vapor lock, which we will discuss later. Losses in storage would also be much less for the 176° gasoline.

2. Under operating conditions air and gasoline spray enter the manifold of an automobile engine. Here they are intimately mixed by turbulence of the air stream, heated to some extent by contact with the walls of the manifold and enter the cylinders in about the correct proportions. Entrance through the intake valve still further increases the turbulence and consequent mixing of the charge. Generally, the liquid is not all evaporated at this stage, probably some of it is in the form of small droplets which are further vaporized by mixing with the residual hot exhaust gases in the cylinder and by contact with the hot cylinder wall during compression of the charge before ignition Hence under ordinary running conditions little if any liquid should remain at the time of ignition.

What little gasoline may remain in the form of droplets suspended in the air at the end of the compression stroke is probably vaporized and burned during the power stroke. However, if the cylinder walls, with their film of lubricant, are at too low a temperature, liquid particles striking them will be dissolved in the oil film, or, under extreme conditions, fuel vapor may be condensed on the walls The oil thus diluted in the cylinder is interchanged with oil in the crankcase by the reciprocating action of the piston and thus dilutes the crankcase oil.

A good gasoline must vaporize in the manifold sufficiently to avoid too much crankcase dilution and to give good distribution of the fuel to the different cylinders. Before crankcase ventilators and other

devices for removing fuel from the oil in the crankcase became common, the limit in use of heavier or less volatile fuels was set by crankcase dilution. This may not be so at present, but, in any case, experience has shown that for practical purposes a fuel is not satisfactory if too much of it remains unvaporized, nor is it entirely satisfactory if it is too volatile and therefore vaporized too readily.

Table III.

90% A.S.T.M.		16—1 Dew Point	
° C	° F	° C	° F
120	248	3	37
140	284	17	53
160	320	31	88
180	356	45	113
200	392	59	138
220	438	73	163

For a long time the usual gage of volatility in respect to the completeness of evaporation was the "end point" of the distillation. It was shown, however, some years ago that this is not at all a good measure of volatility, but that the temperature of the 90% point of the distillation is a much better measure, in fact a very satisfactory one. This is the point therefore which is stressed in the Federal Specification and should be so in any such specification. In fact it would be better to omit the end point entirely as it is both inaccurate and misleading.

Table III gives the dew points, which are the same as the temperatures at which all of the fuel would evaporate, in a mixture of 16 pounds of air per pound of fuel. This is a somewhat leaner mixture than is commonly used in an engine, but the temperature given would permit almost complete vaporization of the fuel in the usual mixture.

The sample marked 200° C (392° F) represents the current Federal specification limit. This gasoline would vaporize completely at 138° F in a 16 to 1 air fuel ratio. Experience in service has shown this to be a fairly satisfactory motor fuel. The average gasoline throughout the country meets this requirement, and it appears to be a good limit to set for ordinary motor fuel which is not intended for use under specially adverse conditions

3. A gasoline should not be too volatile, since it may cause vapor lock. Vapor lock results from the boiling of the fuel in the gasoline line or the carburetor and often results in stopping the engine, after which one must wait for the fuel to cool down before starting. As noted above, vapor pressure is the property of a gasoline which determines its tendency to boil in the fuel line or carburetor and hence cause engine stoppage due to vapor lock The higher the vapor pressure, the greater is the possibility that vapor lock will occur.

Table IV gives the gas-free vapor pressures in pounds per square inch for a series of gasolines when heated to a temperature of 100° F The lightest of these gasolines will almost boil at this temperature

devices for removing fuel from the oil in the crankcase became common, the limit in use of heavier or less volatile fuels was set by crankcase dilution. This may not be so at present, but, in any case, experience has shown that for practical purposes a fuel is not satisfactory if too much of it remains unvaporized, nor is it entirely satisfactory if it is too volatile and therefore vaporized too readily.

Table III.

90% A.S.T.M		16—1 Dew Point	
° C	° F	° C	° F
120	248	3	37
140	284	17	63
160	320	31	88
180	356	45	113
200	392	59	138
220	438	73	163

For a long time the usual gage of volatility in respect to the completeness of evaporation was the "end point" of the distillation. It was shown, however, some years ago that this is not at all a good measure of volatility, but that the temperature of the 90% point of the distillation is a much better measure, in fact a very satisfactory one. This is the point therefore which is stressed in the Federal Specification and should be so in any such specification. In fact it would be better to omit the end point entirely as it is both inaccurate and misleading.

Table III gives the dew points, which are the same as the temperatures at which all of the fuel would evaporate, in a mixture of 16 pounds of air per pound of fuel. This is a somewhat leaner mixture than is commonly used in an engine, but the temperature given would permit almost complete vaporization of the fuel in the usual mixture.

The sample marked 200° C (392° F) represents the current Federal specification limit. This gasoline would vaporize completely at 138° F in a 16 to 1 air fuel ratio. Experience in service has shown this to be a fairly satisfactory motor fuel. The average gasoline throughout the country meets this requirement, and it appears to be a good limit to set for ordinary motor fuel which is not intended for use under specially adverse conditions.

3. A gasoline should not be too volatile, since it may cause vapor lock. Vapor lock results from the boiling of the fuel in the gasoline line or the carburetor and often results in stopping the engine, after which one must wait for the fuel to cool down before starting. As noted above, vapor pressure is the property of a gasoline which determines its tendency to boil in the fuel line or carburetor and hence cause engine stoppage due to vapor lock. The higher the vapor pressure, the greater is the possibility that vapor lock will occur.

Table IV gives the gas-free vapor pressures in pounds per square inch for a series of gasolines when heated to a temperature of 100° F The lightest of these gasolines will almost boil at this temperature.

The vapor pressures of gasolines, excluding those undesirable fuels which are not properly stabilized, is related to the 10% point in the distillation test. In fact, trouble from vapor lock will almost certainly occur if the temperature of the gasoline in the fuel lines exceeds the 10% point temperature.

Table IV.

10% A S T M		Vapor Pressures 100° F	
° C	° F	mm	lb /sq in.
40	104	720	13.9
50	122	545	10.5
60	140	415	8.0
70	158	310	6.0
80	176	235	4.5

Formerly this trouble did not often happen, since there was a dearth of volatile fractions in most gasolines. Of late cracking processes and increased recovery of natural gas gasoline have changed this. At present volatile fractions are plentiful and gasolines are often too "good" at the 10% point. To avoid trouble from vapor lock the Federal Specifications Board has included a lower as well as an upper limit to the 10% point of Government gasoline. This appears to be the best solution of the difficulty. It is not wise to make the lower limit too high as this would limit competition and raise the price There is hardly any need of a lower limit in winter unless one forgets to open the radiator shutters.

In specifications like those of the U S. Government which apply to Government purchases throughout the country at all times, these limits must be as wide as possible to meet all conditions without limiting competition. Some discretion is left to the purchasing officer as will appear when the detailed U.S. specifications are considered. Where purchases are made locally under specifications which can be modified at will to meet local or temporary conditions it may be desirable to require different limits for the 10% point under different climatic or operating conditions.

4. But for the tendency of fuels to knock or detonate when the compression ratio is raised, much more power and better economy could be had in automotive engines.

As has been noted above under (g) there is still much confusion in the industry and among users of fuels as to relative antiknock qualities of different fuels on the market. Broadly speaking there are four classes of fuels which are better than straight distillate gasoline from Appalachian crude oils in knock rating, these are a California and west coast oils which are high in aromatic compounds, b cracked gasolines, particularly vapor phase cracked products, c blends of gasoline with benzol and other coal tar derivatives and d. blends with tetraethyl lead Class d. fuels are usually controlled to a nearly constant knock rating, those of the other classes might be controlled but this is not always done.

5. One other purely physical property of fuels is included in the Federal specifications, viz , the 50% point of the distillation curve. Careful tests have shown that this point is of much less importance than the 10% and the 90% point, but being of some value as an index to the general behavior of a gasoline in the warming up period it may well be included in any general specification for gasoline.

6. Rarely a sample of gasoline is found to leave a deposit of gum on intake valve stems and in the intake manifold. This fault has become somewhat more common of late since cracked gasolines, which are more liable to form gums, have been increasing in amount. This is a fault which should be avoided. The "copper dish" test, described in Bureau of Mines Technical Paper 323B is commonly used to measure gum-forming tendencies of gasoline. This test is not very satisfactory. Some gasolines which deposit gum in the test give no trouble in the engine. It is a fairly safe test, however, in that gasoline which passes is not likely to give trouble. This test is not included in the Federal specification for motor gasolines, but is included in those for aviation gasolines. Much work is being done by several laboratories toward devising a better test for gum formation and more satisfactory test methods are under development.

7. One foreign element almost always present in crude oil and in gasoline is sulphur. This may occur as sulphur in solution or as any one of several sulphur compounds. Two sorts of damage are chargeable to sulphur, a. corrosion of fuel lines and fittings and b. corrosion in the crankcase.

Corrosion of fuel lines a. is not common as nearly all gasoline is refined to meet the copper strip corrosion test Like the other tests mentioned above this has been standardized and is described in the U.S. Specifications as well as by the American Society for Testing Materials.

Corrosion in the crankcase b. is a much more insidious and serious fault when it occurs. The cause was definitely discovered only a few years ago. When sulphur is burned along with the fuel it forms SO_2 some of which leaks past the piston rings and, combining with water when present in the crankcase, forms corrosive acids. The acid attacks any exposed surfaces, particularly bearings surfaces, in the colder parts of the crankcase where moisture condenses

When there is no condensation of water in the crankcase corrosion is not serious while with water present probably some corrosion takes place even without sulphur in the fuel. Water collects normally in cold weather and particularly when an engine is often stopped and started A four cylinder engine is less subject to water in the crankcase than a six or an eight cylinder engine because with four cylinders the air in the crankcase is partly displaced at each stroke, which is not the case with the other designs. Crankcase ventilators and other devices reduce or prevent collection of water.

It is clear therefore that during most of the time fuels high in sulphur might be used with impunity but there are times when such fuels may practically destroy an engine in a few weeks.

The Government requires that total sulphur be not more than 0,10% which seems to be a safe limit. This limit is advisable until reliable data are at hand to show that the limit can be safely raised.

Other tests such as color, odor, gravity, staining on evaporation, etc., which have been used, appear to bear no direct relationship to engine requirements, other than as possible indices of qualities already discussed.

Two of the most important characteristics of motor fuels have been omitted entirely from the foregoing discussion as they are omitted from usual specifications. These are the heat of combustion in Btu per gallon or calories per liter of the liquid fuel and the heat of combustion per unit volume of the explosive mixture. The former is proportional to the total amount of work which can be obtained per gallon of fuel, the latter to the motive power which can be produced by a given engine.

The reasons that these two important factors can be neglected in specifications are that the heats of combustion per unit volume of liquid or of explosive mixture for hydrocarbons in the gasoline range are substantially the same.

Present government specifications which are met by the average motor gasoline on sale embody the principles discussed above in so far as the necessary tests have been developed and generally accepted. Accepted test methods have been the result of long continued development, and modifications of them or the substitution for them of other and better methods must necessarily also be gradual. Much is being done by the research laboratories of the Government, as well as by those of the petroleum and automotive industries toward the better realization of the ideal specification for motor fuel

The present United States Master Specification for Lubricants and Liquid Fuels covers both motor and aviation gasolines, there being two grades of each. In the specification for the ordinary grade of motor gasoline, called U.S. Motor, provision is made for use under various climatic conditions. The maximum 10% point can be lowered in cold weather to ensure easy starting, while the minimum 10% point can be raised if long storage in a warm climate is anticipated. A special high-test motor gasoline can be purchased under specifications for such purposes as operation of fire apparatus, ambulances and emergency vehicles in cold weather. For aviation purposes, two grades are provided of different volatilities, called domestic aviation gasoline and fighting aviation gasoline.

Potential Sources of Motor Fuel

The discussion so far has been confined to hydrocarbon fuels derived from crude oil, natural gas or coal distillates, and there is no immediate prospect of need for any other source of motor fuel in the United States for some years at least. The development of cracking processes alone now permits of approximately doubling the average yield of gasoline from crude oil. Improved methods of locating oil fields and of recovery

of crude oil from the ground promise to maintain an available supply of gasoline at low prices for a considerable period of time.

The time may come, however, when other sources of supply will be necessary if the country is to increase or even maintain its present number of highway motor vehicles. The possible sources of such substitutes have been discussed at length in various places. Shales as a source of hydrocarbon fuels are plentiful, but no means is at hand for estimating the probable cost of fuel from such supplies. Similarly, fuels from distillation of coal could be had in large amounts. In either case, the equipment now in use will operate as well on such substitute fuels as on present gasoline. Hence the gradual tapping of this source of supply would present no serious technical problems.

The other industrial source of supply of large amounts of possible motor fuel is the production of alcohols, particularly methanol. The latter can be produced by present processes at a cost which would place it in competition with hydrocarbon fuels within a price range which might be reached on even a temporary shortage of supply. The use of methanol as motor fuel, however, presents some problems which are unsolved in so far as conditions in the United States are concerned. This source of supply therefore could not be tapped at will as can shale oil or coal distillate, since present motor vehicle engines and present operating technique will not permit its use without important modifications. It seems important, therefore, that studies be made of the problem involved in the use of alcohols as motor fuels in order that this potential source of supply may be readily available whenever the cost of hydrocarbon fuels reaches a point where the use of the former is economically desirable.

Zusammenfassung

Die Brennstoffe, uber die hier berichtet wird, sind solche, die fluchtiger sind als Brennöl (Kerosen) und die allgemein als Betriebsstoff fur Explosionsmotoren dienen.

Solche Brennstoffe waren fruher ein Nebenprodukt beim Raffinieren des Kerosens und bis zum Jahre 1900 wurden sie zu häuslichen Zwecken beim Kochen und Heizen sowie zur Beleuchtung verwendet. Seitdem ist ihr Gebrauch als Motorbetriebsstoff der allerwichtigste.

Mit dem großeren Bedarf an Motorbetriebsstoff ist ein immer größerer Anteil des Rohols hierzu raffiniert worden Die Statistik des Problems, und die Entwickelung der Behandlungsmethoden, welche diese Zunahme in der Ausbeute des Betriebsstoffs aus dem Rohol ermoglichten, sind ausfuhrlich behandelt.

Bis zum Jahre 1920 war der Motorbrennstoff ein ziemlich gleichmäßig beschaffenes Produkt, das im Handel Gasolin genannt wurde und bei jedem Handler gekauft werden konnte. Seitdem ist der Verkauf unter Handelsmarke sehr gestiegen, und ist jetzt fast allgemein. Einige solcher Motorbrennstoffe kosten Aufgeld infolge anderer Beschaffenheit als der normalen. Einzelhandel des Brennstoffes erfolgt an „Pumpen“ am Fahrweg zur großeren Bequemlichkeit der Kraftfahrer.

Die Nachfrage nach den besseren Produkten ist teils Ursache und teils Erfolg der ausfuhrlichen Untersuchungen über die Betriebsstoffe fur Motoren der modernen Kraftwagen. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden ausfuhrlich behandelt.

Die Entwickelung von klopffreien Motoren vor einigen Jahren, die hohere Verdichtung erlaubten und dementsprechend eine Zunahme an Kraft und eine Ersparnis an Brennstoff hatten, führte zu einer allgemeinen Nachfrage für nichtklopfende Brennstoffe sowie zur Herstellung von Einrichtungen, um diese Vorteile zu verwerten. Die Forschungsarbeiten uber diesen Gegenstand sind besprochen.

Bei dem Ankauf der Brennstoffe nach Vorschriften entweder von Regierungsstellen oder Großverbrauchern entstehen besondere Probleme, die im Zusammenhang mit der Frage der Vorschriften fur Brennstoffe behandelt sind.

In den Vereinigten Staaten ist in nächster Zeit keine Aussicht vorhanden zu großerer Verwendung von Motorbrennstoffen, die nicht aus Erdol abstammen. Die Möglichkeit der Verwendung anderer Brennstoffe ist erwähnt.

Japan

On the Chemical Composition of the Light Distillates of Japanese Petroleum

Naval Fuel Department, Imperial Japanese Navy

Minoru Akita

During our studies on motor fuel from petroleum, the meagreness of our knowledge of the chemical composition of petroleums has often been keenly felt. The chemical constituents of Japanese petroleum were investigated by *K. Kobayashi*[1], *S. Shimidzu*[2], *C. F. Mabery* and *S. Takano*[3], and *T Katayama*[4], and reported to consist mostly of hydrocarbons of the polymethylene series with some aromatic hydrocarbons, and *S Komatsu, S Kusumoto* and *N. Tanaka*[5] have confirmed the occurrence of hexamethylene, methyl pentamethylene, benzene and n-hexane in the gasoline fraction from "Nishiyama" crude petroleum. The gasoline from the Nishiyama oil was also investigated by *Y. Tanaka* and *Y. Nagai*[6], and found to be composed of 49% of naphthene, 48% of paraffin and 2,5% of aromatic hydrocarbons.

The writer, therefore, has attempted further to determine the chemical constituents in the light fraction of petroleums from the oil fields of different districts of Japan.

The petroleums used in this experiment were obtained in the interval from Oct. 27th to Nov. 6th. 1925, from 31 oil wells, of which 29 were furnished by the courtesy of the Nippon Sekiyu Co., Ltd., and the remainder by the Kita Karafuto Sekiyu Co Ltd.

In Table I, the localities of the oil fields, the depth of the oil wells, and the specific gravity, the yield of the fraction boiled to 200° C under atmospheric pressure and the sulphur content of the crude oils were shown

We have learned from the data shown in the above table that the crude oils from the islands of Saghalien, Hokkaido and Taiwan, contain a small quantity of sulphur, while those from the northwestern parts

[1] *K Kobayashi*, J., Soc Chem Ind Japan, 5, 321 (1902); 13, 1277 (1910).
[2] *S Shimidzu*, J. Soc Chem. Ind Japan, 7, 915—26 (1904)
[3] *C F Mabery* and *S Takano*, Amer. Chem J., 25, 297 (1901)
[4] *T Katayama*, J. Soc Chem Ind, 16, 1341 (1913), 17, 273 (1914)
[5] *S Komatsu* and *S Kusumoto*, Mem Col. Kyoto Imp Univ Series A 7, 77—84 (1925). *S Komatsu* and *N Tanaka*, Ibid 7, 143—6 (1925)
[6] *Y Tanaka* and *Y Nagai*, J Soc. Chem. Ind Japan, 27, 432—6, 817—30 (1924)

of Honshu, Akita and Niigata prefectures, a large amount of sulphur, and also that the petroleums can be classified into three groups according to the specific gravity and the sulphur-content.

Table I

No of Samples	Oil Field	Oil Well	Depth of Oil Well (m)	$d^{15°}_{4°}$	Distil-late up to 200° C (Vol %)	Sulphur (Weight %)
	Hokkaido					
1	Ishikari	Hachinosawa No. 9	622 1	0.896	59.8	0 15
2	Ishikari	Shunbetsu No 33	176 0	0 885	26 8	0.20
3	Iburi	Karumai C-No. 8	551.7	0 869	34 8	0 14
	Akita-Ken					
4	Kurokawa	C-No. 1	500 0	0 925	Trace	0 74
5	Toyokawa	Urayama R-No 100	405 0	0 958	Trace	0 67
6	Michikawa	C-No. 13	207 3	0 954	Trace	0.74
7	Kinshoji	R-No. 1	775 5	0 925	Trace	0 90
8	Nigorigawa	K-No 37	144 5	0 904	17 2	0 61
9	Asahigawa	C-No. 32	142 4	0 899	14 6	0 47
10	Katsurane	C-No. 66	290 9	0 828	48 6	0 47
11	Hanekawa	R-No 5	545 4	0 846	30 6	0 62
12	Katsute	C-No. 42	360 0	0.864	30 0	0 60
	Niigata-Ken					
13	Niidzu	Kumazawa S-No 18	200 0	0.938	2 5	0 47
14	Niidzu	Takadani C-No. 38	132 7	0.919	8 4	0.59
15	Niidzu	Shioya C-No. 18	177 3	0.924	2 8	0.51
16	Niidzu	Oguchi R-No. 18	359 0	0 936	1 6	0 58
17	Omo	R-No. 4	893 6	0 873	28 0	0.37
18	Higashiyama	Hire C-No 150	272 7	0.856	34 9	0 54
19	Higashiyama	Katsurasawa C-No 146	253 0	0.888	25 2	0 71
20	Higashiyama	Urase D-No. 78	183 6	0 871	27.5	0.58
21	Mishima	Amaze, Katsumi C-No. 7	593.8	0 803	50 4	0 08
22	Mishima	Nanukaichi C-No 84	404.8	0.928	2 9	0 28
23	Nishiyama	Kamada C-No. 81	186.8	0 906	14 4	0 19
24	Nishiyama	Nagamine C-No. 18	242.0	0 930	2 6	0 20
25	Nishiyama	Takidani R-No. 40	1280.0	0 821	47 9	0 08
26	Ojiya	No. 25	361 8	0 808	65 6	0 04
27	Maki [Ken	Kyu-Hibara No 34	178.2	0 785	76 8	0.06
	Shizuoka-					
28	Sagara	D-No. 80	100.4	0 779	76 0	0 05
29	Taiwan	Shukkoko C-No 35	647 5	0 817	62.3	0 06
30	Saghalien	Oha	—	0.924	Trace	0.12
31	Saghalien	Nutowo	—	0 825	52 0	0.08
		Mean		0 88	27 6	0.38

C = Cable System, R = Rotary System; K = Kazusa System, D = Dug Well

	Sp. gravity	Yield of the light fraction	Sulphur-content
1	0.9	5%	0 7
2	0.85	25%	0.3
3	0.8	50%	0.1

Such a relation between the sulphur-content and the specific gravity of crude petroleums was also noticed in the petroleums from other countries.

	Locality	Sp gravity	Yield of the light fraction	Sulphur-content
U S A.	Pennsylvania .	0.79—0.82	10—20	0 06
	Ohio	0.83—0.85	10—20	0.6
	California	0.85—0.95	25	0.8
Baku		0 85—0.90	5	0.2
Galicia		0 82—0.90	5—30	0.2
Borneo		0.90—0 95	1—7	0.4

The statements for the occurrence of the hydrocarbons of the aliphatic and aromatic series in American oils, and of polymethylene hydrocarbons in European oils and of aromatic hydrocarbons in Borneo oils, as a chief constituent, lead the writer to assume that the hydrocarbons of paraffin, polymethylene and of the aromatic series occur in our petroleums, and their content would be varied according to the difference in the specific gravity or the sulphur-content. Such a notion will naturally arise when the geographical situation of Japan is considered in comparison with that of North America and Russia and also in view of the fact that the hydrocarbons boil from 60° to 200°, and show a density of 0.66 to 0.77 in the aliphatic series, 0.77 to 0.83 in the polymethylene series, and 0.85 to 0.89 in the aromatic series respectively To state the chemical constituents of the distillate of the petroleums which boiled up to 200° C and was named "light fraction", or "gasoline fraction", the crude oils were fractionated in a flask with Widmer's distillation column under atmospheric pressure, and each fraction was determined for sp. gr., sulphur-content, and the distillation characteristic by *Engler*'s standard flask, the results being shown in Table II.

Table II

No of Samples	$d^{15°}_{4°}$	Sulphur (Weight %)	Fractions (Volume per cent) Up to 80°	80° to 100°	100° to 120°	120° to 140°	140° to 160°	160° to 180°	180° to 200°	Loss
1	0 7502	0 02	12 6	20.0	20 0	20 8	11.2	10 0		5.4
2	0 7839	0 01	—	8 6	24 4	20.0	12.4	24 6	5.2	4 8
3	0.7464	0 02	13 6	18 8	28 6	11 6	12.4	9 6		5 4
8	0 7848	0.03	—	14 0	2 4	24 4	18 4	6 8	29 4	4 6
9	0 7825	0 03	3.0	11 2	17 8	12 6	13 4	23 0	14 4	4 6
10	0 7553	0 02	11 0	12 0	22 2	19 2	15 6	10 0	5 0	5 0
11	0 7681	0 07	5 4	17 6	13 6	38 4		13.0	6 8	5 2
12	0 7591	0 06	2 0	10 0	20 0	19 2	19 8	14.0	10 8	4 2
14	0 7937	0 04	—	—	3 6	15 4	29 0	17.0	31 0	4 0
17	0.7780	0 01	—	2 0	15 4	23 0	24 0	18 0	12 6	5 0
18	0 7619	0 02	8 0	16 0	19 4	12 2	18 4	17 4	2 6	6 0
19	0 7750	0 03	2 4	6 6	19 0	23 0	15 0	20.4	9 0	4 6
20	0 7704	0 03	—	9 6	21 8	18 0	21 0	15 8	9 2	4 6
21	0 7645	0 01	2 6	6.0	16 4	20 4	23 2	17 4	9 0	5 0
23	0 7913	0 02	—	—	6 6	18 6	21 1	18 3	30 9	4 5
25	0 7631	—	13 0	23 0	13 6	14 4	15 5	11 5	3 7	5 3
26	0 7722	0 02	2 8	13 6	27 0	18 6	28 6		4 4	5 0
27	0 7669	0 01	3 6	18 0	23 4	20 5	12 5	17.0		5 0
28	0 7535	0 01	9 4	20 4	24 2	15 0	11 5	9 8	4 7	5 0
29	0 8002	Trace	—	3 6	19 8	23 6	28 2	14 3	6 8	3 7
31	0 7729	0 01	3 0	13 2	23 0	18 6	16 8	12.6	7 0	5 0

The petroleums obtained from the oil fields of the North-eastern districts of Akita and Niigata prefectures are viscous and black, and poor in the gasoline fraction, while those from the South-western districts are thin fluids of a reddish colour, and rich in the gasoline fraction; but, in general, no particular relation between the yield of this fraction and the geological conditions of the oil field could be found.

However, the gasoline of high density contains much of the higher fraction, while the low boiling fractions are abundant in the gasoline of lower density, and the middle fractions which boil from 120° to 180° compose about 60% of the gasolines from all of the petroleums.

Sp gravity Gasoline	Yield of the fractions		
	B. p. to 80°	B. p. 80°—100°	B. p 180°—200°
0.78	—	10%	30%
0 76	—	20%	10%
0.75	10%	30%	5%

In order to discover the chemical constituents of the gasoline fraction, the content of the hydrocarbons of paraffin, polymethylene and of the aromatic series, was estimated. In the analysis, olefine hydro-

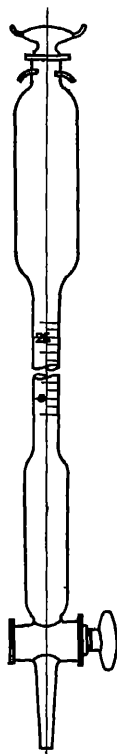



Fig 1.

carbons were estimated by the method proposed by *G. Egloff* and *J. C. Morrell*[7], vz., 500 ccm of the sample were treated with twice its volume of 80% sulphuric acid for 15 min, keeping the temperature of the mixture below 10° C by cooling with ice water, and the acid layer was separated. The diminished volume of the oil after the treatment and the volume of a fraction which boils above 200° C in the residual oil separated from the acid layer and washed with caustic soda, would be formed by the polymerization of the olefine hydrocarbons, and these combined together were designated as olefine hydrocarbons. The method which was advocated by *Egloff* and *Morrell* for the estimation of aromatic hydrocarbons, by converting them into nitro compounds, was tedious as the writer has found by experimentation, in separating the nitrated compounds from the unchanged oil. *Thole*'s method[8], however, seems more convenient in the present case, and in manipulating the process the writer has used a special burette shown in Fig. 1, and 25 ccm of 98% sulphuric acid solution are added gradually to 25 ccm of the oil which completely removed the unsaturated hydrocarbons. The glass stopper is put on tightly, bound with wire to the stem of the burette, and then the burette is shaken vigorously for 30 min and then the contents are allowed to settle, the acid layer is poured off and again treated with 25 ccm of sulphuric acid. The decrease in volume of the oil layer is assumed to be the content of aromatic hydrocarbons in the gasoline fraction.

The content of the polymethylene hydrocarbons was determined by the aniline point method proposed by *Tizard* and *Marshall*[9]. The oil insoluble in 98% sulphuric acid, which is a mixture of hydrocarbons of the polymethylene and the paraffin series, is washed with water and a dilute solution of caustic soda, and then dried thoroughly with calcium chloride To 10 ccm of the dried oil is added an equal volume of freshly distilled and dried aniline in a test tube. The mixture is then heated gradually and the cloud point, or aniline point, is determined, and the percentage of polymethylene hydrocarbons in the gasoline fraction was calculated from the depression of the aniline point according to the proposal by *Tizard* and *Marshall.*

The percentage of the paraffin hydrocarbons in the gasoline fraction is obtained by subtracting the sum of the contents of the hydrocarbons of the olefine, aromatic and polymethylene series from 100.

The results of the analysis in volume percentage, of these hydrocarbons in these gasoline fractions are shown in Table III

The content of olefine hydrocarbons in the fraction is negligibly small compared with the other hydrocarbons, and, moreover, the occurrence of the compounds seems to be suspicious, though there is only one report by *Mabery*[10], on the detection of these compounds in Canadian petroleum, the formation of the olefines evidently results from the other hydrocarbons which occur in the petroleum,

[7] *G Egloff* and *J C Morrell*, Ind Eng Chem , 18, 354—6 (1926)
[8] *F B Thole*, J Soc Chem. Ind , 38, 36 T (1919)
[9] *Tizard* and *Marshall*, J Soc Chem Ind , 40, 29 T (1921)
[10] *C F Mabery*, Proc Amer Acad , 41, 110 (1905)

Table III

No of Samples	The Hydrocarbons of			
	Olefines	Naphthenes	Paraffines	Aromatics
1	0.7 (%)	39.3 (%)	46.9 (%)	13 1 (%)
2	0.4	39.4	47.0	13 2
3	0.5	51 3	42.5	5.7
8	0.6	46 3	47 4	5.5
9	0.6	49 9	43.6	5 9
10	Trace	32.7	53 9	13 4
11	0.1	39 6	52 2	8 1
12	0 5	39 3	53 7	6.5
14	0.1	40 0	54 7	5 2
17	Trace	41 7	51.5	6.8
18	0.1	41 5	50 1	8 3
19	0 6	43 9	50.9	4 6
20	0.2	37 3	55 3	7.2
21	0.4	20 5	61 3	17 8
23	0 2	45.8	50.7	3 3
25	0 3	37 7	50 9	11.1
26	0.6	28 6	37.3	33 5
27	0 3	31 9	43.7	24 1
28	0.5	38.2	52.0	9 3
29	0.2	7 5	43 5	48 8
31	0 2	34.6	40 1	25.1
Mean	0.3	38	49	13

by cracking during the fractionation of it. In fact, the cracked gasolıne when compared to the straıght run gasoline is rich in olefine hydrocarbons as may be seen from the followıng table.

Contents of Hydrocarbons (Vol %)

Gasoline	Olefines	Naphthenes	Paraffines	Aromatics	Analysed by
Cushıng, Okl Str -Run	1.6	23 7	69 8	4 9	*Egloff* and *Morrell*[11]
Cushıng, Okl Cracked ..	10.9	18 0	51 3	19 8	
Somerset, Ky Str -Run	3 8	20 6	70 3	5 3	
Somerset, Ky Cracked .	12 5	11.8	60 8	14.9	
Mıdcontinent Str -Run	2.8	19.7	73 6	3 9	*Stevens* and *Marley*[12]
Mıdcontınent. Cracked	15 0	12 6	53 9	18 5	
Pennsylvanıa. Str -Run .	2.5	14 9	83.6	Trace	
Pennsylvanıa Cracked	11.7	6 7	64.9	16 7	

Among our gasolınes, the oil from the Shukkoko and the Ojiya petroleums abundantly contains aromatic hydrocarbons whıch would be composed of a mixture of benzene and ıts homologues as indicated ın the physıcal constants.

In general, our gasoline fractıons, as may be seen from the table, show an average composition of about 40% of polymethylene hydro-

[11] *G Egloff* and *J C Morrell*, Ind Eng Chem , 18 355 (1926)
[12] *D R Stevens* and *S P Marley*, Ind. Eng Chem., 19, 229 (1927).

carbons and 50% of paraffin hydrocarbons and 10% of aromatic hydrocarbons.

When, however, the chemical composition of the fraction of these various petroleums is examined in detail, we notice that the gasoline which is poor in aromatic hydrocarbons is rich inversely in poly-

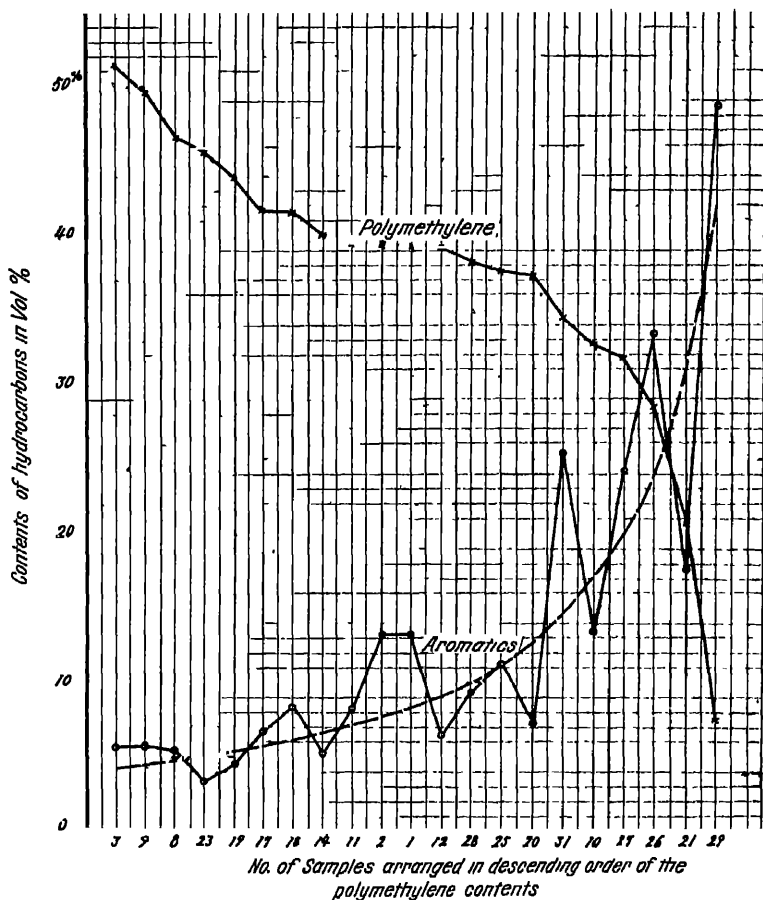



Fig. 2.

methylene hydrocarbons, and this relation seems to hold throughout all of the oils examined, and this is illustrated in Fig 2.

The fact that the polymethylene hydrocarbons were actually converted by the action of heat and catalysts into aromatic hydrocarbons would present some evidence to the supposition that the aromatic hydrocarbons were derived from polymethylene hydrocarbons in the gasolines. Moreover, the chemical composition of the straight-run and

of the cracked gasolines of American petroleums from various origins shown in the table, is in favour of this view.

As to the origin of the polymethylene hydrocarbons in our petroleums, the writer is inclined to believe that the unsaturated hydrocarbons occurring in the petroleum were converted catalytically into polymethylene hydrocarbons which in turn are transformed into aromatic ones, and an oxide or sulphide of metals such as iron which is found together with oils in the oil-field, plays an important part as an oxidizing catalyst in the transformation of these hydrocarbons under the earth crust.

As a matter of fact, our petroleums contain a great proportion of sulphur and show high specific gravity, as we noticed in the California and Borneo oils which abundantly contain aromatic hydrocarbons.

It is well known that the motor fuel for use in a high compression engine is required to contain some benzene in order to secure a high thermal efficiency by preventing knocking, and accordingly the gasoline fractions of Japanese petroleums, which are comparatively rich in aromatic hydrocarbons, compare favourably with the petroleum of paraffin bases as a source of the fuel.

The writer wishes to express his sincere thanks to Vice-Admiral *G. Yamashita*, the former director of the Naval Fuel Depot, Imperial Japanese Navy Eng. Captain Viscount *M. Kawase*, Chief of the Scientific Research and Experimental Branch, and Prof. Dr. *S. Komatsu* of the Kyoto Imperial University whose suggestions and encouragement have been invaluable for the accomplishment of this work

The writer also desires to express his appreciation to Mr. *G. Nomura* for assisting in these experiments.

Résumé

Dans cet ensemble de recherches, les fractions légères de l'huile brute de 31 puits de pétrole du territoire japonais furent analysées par la méthode de *Egloff* et *Morrell*, avec des légères retouches faites par l'auteur dans la détermination des hydrocarbures cycliques

Il est possible de résumer les résultats de l'expérience, comme suit:

1. Il est impossible d'établir une relation déterminée entre la composition qualitative et quantitative des fractions volatiles des huiles brutes, et leur site dans les territoires pétrolifères, les puits, et leur profondeur.

2. En général, dans les territoires pétrolifères des circonscriptions de Akita et de Niigata, les huiles brutes provenant des territoires du nord-est sont visqueuses, de couleur noire, peu riches en composés volatils, et au contraire, ceux des territoires du sud-ouest sont fluides, bruns rougeâtres et riches en composés volatils.

3 Il est impossible de trouver une relation déterminée entre les quantités de chaque série d'hydrocarbures, si ce n'est que le pourcentage en naphtènes, généralement en rapport inverse de celui en composés aromatiques Il se peut que ce fait conduise à des déductions intéressantes au sujet de la formation du pétrole, par un examen plus approfondi des résultats, au point de vue chimique et géologique.

4 Le pourcentage des composés naphténiques est généralement élevé, et intervient comme composant principal dans les fractions gazéifiables. Ce fait peut

être considéré comme une preuve de l'opinion émise à priori que les huiles brutes japonaises sont à base de mélange.

5. Les pourcentages en aromatiques sont généralement élevés, et on peut conclure qu'il existe un rapport entre la composition des huiles japonaises et celles d'Amérique, de Russie et de l'Océan Antarctique, analogue à celui de la situation géographique du Japon à ces pays.

6. Au point de vue de l'auto-allumage, les fractions distillables des huiles brutes japonaises sont supérieures à celles qui sont à base de composés aliphatiques, comme source de carburants pour moteurs.

Tschechoslowakei

Kraftstoffe für Vergasermotoren in der Tschechoslowakei

Tschechoslowakisches Nationalkomitee

Dr.-Ing. R. Siegel

Die Versorgung der Tschechoslowakei mit Kraftstoffen fur Vergasermotoren hat sich im allgemeinen in sehr ruhiger Weise entwickelt Der Bedarf war nach dem Kriege zunächst sehr gering, die Automobilisierung des Landes, auf die der Hauptanteil des Kraftstoffkonsums zurückzufuhren ist, hat sich erst in den allerletzten Jahren stärker entwickelt. Der Verbrauch fur das Jahr 1929 wird auf rund 16 000 Waggon Benzin geschatzt, im Jahre 1928 wurden 13 330 Waggon Benzin eingeführt, wovon 34 % als Fertigbenzin, etwa 38 % als Rohbenzin und der Rest als Rohol eingefuhrt wurden.

Was die Herkunft des Benzins anlangt, so stammen 60 % des Fertigbenzins aus Rumänien — die Benzine dieser Herkunft zeigen besonders gute Siedekurven und hohe Klopffestigkeiten — das Rohbenzin stammt etwa je zur Halfte aus Polen und aus Rumänien, das Rohol selbst ist zu ca. 70 % russischen Ursprungs, den ubrigen Bedarf deckt Amerika, da Erdölvorkommen in der Tschechoslowakei derzeit nur in kleinstem Umfang in Mahren erschlossen sind und für den Markt nur geringe Bedeutung haben. Als Kraftstoffe inlandischer Herkunft haben nur Benzol und Alkohol Verwendung gefunden. Das Benzol stammt aus den Kokereien, seine Gewinnung ist vom Umfang der Koksproduktion abhangig und demgemäß beschrankt, die Ausbeute ist jedoch, wie folgende Tabelle zeigt, im Laufe der Jahre gestiegen.

Jahr	Koksproduktion in Tonnen	Benzolproduktion in Tonnen
1921 ..	1 385 333	7 619
1923 ...	1 755 367	12 139
1925 ...	1 976 230	15 386
1927 ...	2 399 400	20 700
1928 ...	2 784 700	24 335

Von dieser Benzolproduktion, die ungefähr 8 % der reichsdeutschen Benzolproduktion erreicht, wird nahezu die Halfte ins Ausland ausgeführt, vom Inlandskonsum werden ca. 75 % für Kraftfahrzeuge verwendet, der Rest für industrielle und gewerbliche Zwecke.

Die Verwendung des Spiritus wird von staatlicher Seite z T. aus militärischen Rucksichten gefördert und besitzt hohe volkswirtschaftliche Bedeutung. Der Spiritus stammt fast ausschließlich aus landwirtschaftlichen Produkten und wird hauptsächlich aus den Rückstanden der Zuckerfabriken und auch aus Kartoffeln gewonnen.

Eine für den Markt in Frage kommende Gewinnung von Kraftstoffen aus Holzabfallen, im Wege der Braunkohlendestillation usw. besteht derzeit noch nicht.

In der Tschechoslowakei sind Schwierigkeiten durch klopfende Kraftstoffe nur wenig in Erscheinung getreten. Dies begründet sich darin, daß zunachst die käuflichen Benzine, speziell die der rumänischen Herkunft, qualitativ hochstehend sind, und weiter waren die inländischen Firmen in der Lage, bei der Konstruktion von Motoren mit hoheren Verdichtungsgraden die Erfahrungen auslandischer Konstrukteure und Forscher heranzuziehen und Fehler im Entwurf des Verbrennungsraumes, welche eine besondere Klopfgefahr bedingt hätten, zu vermeiden. Auch konnte dem Fahrer selbst eine vorhandene Neigung zum Klopfen leichter verborgen bleiben, weil die bestehende Art der Besteuerung nach dem Hubvolumen die bevorzugte Verwendung hochtouriger Motoren kleinen Zylinderinhaltes herbeiführte, deren geringe Elastizität ein Fahren mit geoffneter Drosselklappe bei geringen Tourenzahlen, also unter den für das Klopfen günstigen Bedingungen, nicht zuließ. Es ist bezeichnend, daß Reklamen oder Artikel über Antiklopfmittel in den Zeitungen und Zeitschriften des Inlandes kaum zu finden sind.

Die Steigerung des Benzol- und Spiritusverbrauches ist in der Tschechoslowakei hauptsachlich eine Preisfrage. Die Tschechoslowakei erhebt keine Kraftstoffsteuer, der Benzinpreis ist demgemäß niedrig, wenn man ihn mit den Preisen im Auslande (abgesehen von Österreich) vergleicht, und betragt nach der letzten Erhöhung 2,70 Kč. für den Liter an der Tankstelle. Der Großhandelspreis des Benzols ist 3,90 Kč/kg, wodurch naturgemaß seine Einfuhrung in die Kraftfahrerkreise sehr erschwert wird Tankstellen fur Benzol und Benzol-Benzin-Gemische sind sehr selten, der Benzolverbraucher ist gewöhnlich darauf angewiesen, das Benzol im Laden zu kaufen, bzw. in Kannen zu beziehen und im Tank des Fahrzeugs zu mischen.

Das Benzol ist auch zu 25—30 % Bestandteil des Dynalkols, des inlandischen Spirituskraftstoffes, der 50 % Spiritus und den Rest Benzin enthält. Der Benzolzusatz ist hauptsächlich durch die Entmischungsgefahr infolge des Wassergehaltes des Sprits bedingt. Das Dynalkol wird als Spirituskraftstoff staatlich gefordert, und zwar hauptsächlich durch seine fast ausschließliche Verwendung bei den staatlichen Kraftfahrzeuglinien, die entweder der Post- oder der Eisenbahnverwaltung unterstehen Der Dynalkolkonsum erreicht etwa 10 % des gesamten Kraftstoffbedarfes, konnte jedoch mit Rucksicht auf die Spiritusproduktion noch sehr gesteigert werden. Das Dynalkol nimmt als Spirituskraftstoff hinsichtlich seiner motorischen Verwendung

eine gewisse Sonderstellung ein, seine besonderen Eigenschaften sind speziell in dem Laboratorium der Spiritusverwertungsgesellschaft überprüft worden. Dynalkol verlangt Vergaser mit größeren Düsen als für Benzinbetrieb, außerdem ist unbedingt hohe Vorwärmung der Ansaugluft notwendig, die bis in die Höhe von 100 Grad zweckmäßig ist. Man ist demgemäß nicht ohne weiteres in der Lage, mit einem für Benzin richtig einregulierten Motor (Vergaser) Dynalkol zu fahren, ganz abgesehen davon, daß in der kalten Jahreszeit eine zu geringe Vorwärmung der Ansaugluft den Betrieb sehr erschwert. Neuerdings sind Versuche abgeschlossen worden, auf Grund deren in nächster Zeit ein Spirituskraftstoff, bestehend aus 25 % absolutem Alkohol und 75 % Benzin, ähnlich dem schwedischen Lättbentyl, in Vertrieb kommen dürfte, dessen Vorteil auch darin liegt, daß Vergaserdüsen von gleichem Durchmesser wie bei Benzinbetrieb beibehalten werden können.

Die Normung der Kraftstoffe ist in der Tschechoslowakei derzeit in Vorbereitung, und es dürfte eine Einteilung derselben nach dem Verwendungszweck vorgesehen werden. Die Vorschriften werden vor allem eine Normung der Prüfungsmethoden umfassen, die sich auf

Siedeverhalten,
Schwefelgehalt,
Säuregehalt,
Korrosion,
Anteile ungesättigter (harziger) Kohlenwasserstoffe und
Gummitest

erstrecken dürften. Das spezifische Gewicht wird voraussichtlich als nebensächliche Angabe betrachtet werden.

Summary

The motor fuels used in the Czechoslovakian Republic are compared and their economic importance is reviewed.

Estland

Die Autoxydation von Diolefinen und ihre Beziehung zur Bildung flüssiger Harze („Gumformation“) in Krack-Benzinen

Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultat der Universität Tartu (Dorpat)

Prof P. N Kogerman

Krack-Benzine

Die zunehmende Anwendung des Krack-Prozesses in der Erdölindustrie hat zur Folge, daß das sog Krack-Benzin oder Krack-Gasolin in immer steigender Menge auf den Markt gebracht wird Dieser flussige Brennstoff wird durch einen hohen Gehalt ungesättigter Verbindungen charakterisiert, was bei längerem Stehen eine Veranderung seiner Eigenschaften hervorruft, wobei sich die Farbe des Benzins verändert und haufig ein viskoses Harz[1] ausgeschieden wird Das durch Erdolkrackung erhaltene Benzin ist seiner Zusammensetzung nach dem Leichtol ähnlich, welches bei der Destillation von Ölschiefern mit Asphaltcharakter gewonnen wird. Zu solchen Ölschiefern gehört auch der estlandische Brennschiefer oder Kukersit Die Zusammensetzung des aus dem Brennschiefer gewonnenen Leichtols ist in gewissem Grade wohl von

Tabelle 1 Analysenresultate von ungereinigtem Brennschieferbenzin und Leichtol (Destillation nach *Engler*)

	1 ungereinigtes Benzin	2. Leichtöl
Spez. Gew 20°/4° ...	0,7645	0,8263
Gehalt an ungesättigten Verbindungen (88% H_2SO_4)	28 Vol -%	33 Vol.-%
Schwefel	0,76%	0,95%
Erster Tropfen der Engler-Destillation	48°	64°
bis 100°	22,5% (Gew -%)	1,9% (Gew.-%)
100 „ 125°	22,3 „	6,9 „
125 „ 150°	18,8 „	12,8 „
150 „ 185°	15,9 „	23,6 „
185 „ 200°	4,6 „	8,8 „
200 „ 220°	5,6 „	11,9 „
Ruckstand	8,9 „	33,7 „
Verluste	1,4 „	0,4 „

[1] Entsprechend der englischen Nomenklatur gum

der Destillationsmethode abhangig, jedoch charakterisiert immer der hohe Gehalt an ungesattigten Verbindungen die unraffinierten Brennschieferbenzine.

Als Beispiel sei hier die Zusammensetzung eines Leichtöls (Siedepunkt bis 200°) gebracht, welches bei Anwendung einer Innenheizungsretorte (M S. K III) erhalten wurde.

Das Benzin wurde nach der Methode von *Riesenfeld* und *Bandte* [1] (siehe Tabelle 2) analysiert; zur Bestimmung der Kohlenwasserstoffe

Tabelle 2. Bestimmung der Kohlenwasserstoffe im Gemisch von ungereinigtem Benzin und Leichtol[2]

	Vol. %
1 Ungesattigte Kohlenwasserstoffe	62,9
a Durch H_2SO_4 absorbiert	37,8
b. Polymerisiert	25,1
2. Aromatische Verbindungen	6,5
3 Naphthene	0,7
4 Paraffine	29,9
	100,0

wurde ein phenolfreies Gemisch von Rohbenzin (1,37 Vol.-Teile) und Leichtöl (1 Vol.-Teil) genommen, welches bis 200° destilliert.

Dasjenige Benzin, das bei der Destillation von Brennschiefer bei niedrigen Temperaturen (bis 485°) durch Kondensation der entstehenden Öldämpfe gewonnen wird, kann man als „primares Brennschieferbenzin" bezeichnen; als „sekundares" oder wirkliches Krack-Benzin

Tabelle 3. Analyse des Brennschiefer-Krack-Benzins

	Vol %
1. Ungesättigte Kohlenwasserstoffe	30,5
2 Aromatische Kohlenwasserstoffe	44,2
3. Naphthene	8,6
4. Paraffine	16,7
5. Äquivalent der aromat Kohlenwasserstoffe (Toluol-Zahl)	52,5

kann dann jenes bezeichnet werden, welches durch Krackung der mittleren und schweren Brennschieferrohol-Fraktionen erhalten wird. Wie die im Laboratorium der Universal Oil Products Co. in Chicago U.S A. ausgefuhrten Analysen zeigen, unterscheidet sich das sekundare Benzin seiner Zusammensetzung nach vom primaren [2].

Zur Krackung wurde von der „Estland. Steinöl A.G. (Eesti Kiviõli A.S.)" erhaltenes Rohol genommen, das aus einem Gemisch schwerer, mittlerer und leichter Fraktionen bestand und beim Kracken über 53% Benzin gab.

Die Analysen ergeben, daß der Gehalt an aromatischen Kohlenwasserstoffen und Naphthenen im sekundaren oder Krack-Benzin viel größer ist als im primaren.

[2] Die Analysenwerte sind von Dipl -Ing. *Byron Wehm*, Estnische Steinöl A.-G., erhalten worden

Gegenwärtig fehlen noch genaue Angaben über die Zusammensetzung der durch Krackung von Erdol sowie von Brennschieferöl erhaltenen Benzine, wobei die Daten über den Gehalt an ungesattigten Kohlenwasserstoffen besonders mangelhaft sind. *Brame* und *Hunter* [3] fanden, daß als dominierender Faktor unter den ungesattigten Kohlenwasserstoffen des Krack-Benzins die Olefine anzusehen sind, wahrend von den Diolefinen nur das Vorkommen von Piperylen im Krack-Benzin nachgewiesen ist. Ohne Zweifel haben die ungesattigten Kohlenwasserstoffe den Hauptanteil bei der Bildung von „flüssigen Harzen". *B. T. Brooks* und *J. W. Humphrey* [4] nehmen an, daß gerade die Diolefine die Entstehung der flussigen Harze in dem Krack-Benzin hervorrufen.

Le Roy G. Story, *R. W. Provine* und *H. T. Bennett* [5] kommen auf Grund ihrer neuesten Untersuchungen über die Entstehung der flüssigen Harze in Krack-Benzinen zur Ansicht, daß das Vorhandensein von Kohlenwasserstoffen, welche konjugierte Doppelbindungen enthalten wie besonders Fulvene, die Ursache der Harzbildung sind.

Verfasser hat schon vor 4 Jahren Untersuchungen uber Oxydationserscheinungen und Harzbildung während langeren Stehens des Brennschieferoles begonnen, wobei er neben den bei der Autoxydation des Benzins entstehenden flussigen Harzen auch die Bildung weißer, *kristallinischer* Substanzen beobachtete [6]

Während die Bildung kristalliner Oxydationsprodukte anfangs vorwiegend nur bei den Fraktionen beobachtet wurde, in denen sich keine flussigen Harze fanden (Fr. 90 bis 92°, 98 bis 100°, 107 bis 108°, 110 bis 111° C), zeigten spätere Versuche, daß sich in einigen Leichtolfraktionen des Brennschiefers, z. B. 95 bis 125°, und 105 bis 140° C, sowohl Kristalle als auch flüssige Harze fanden. Die Menge dieser Kristalle war zu gering (0,15 g), um irgendwelche chemische Verbindungen zu identifizieren, doch war sie genügend, um die Elementarzusammensetzung und das Molekulargewicht zu bestimmen. Die Kristalle waren sich in ihrer außeren Form alle ähnlich: durchscheinend, nadelformig, bei 89 bis 91° C schmelzend. Die Kristalle sublimierten langsam bei Zimmertemperatur. Die Zusammensetzung der Kristalle war im Mittel folgende: C = 61,75%, H = 10,43% und O (aus der Differenz) = 27,82%. Das Molekulargewicht (kryoskopisch in Benzol) = 137,6. Auffällig ist die Ähnlichkeit der Zusammensetzung dieser Kristallverbindungen und der flüssigen Harze Das flussige Harz, das sich beim Stehen des ungereinigten Benzins der Fraktion 107 bis 108° bildete, hatte folgende Zusammensetzung. C = 61,38%, H = 9,20%, S = 0,47% und O = 28,95%. Das spezifische Gewicht des flussigen Harzes betrug: 1,0538 bei 16°/16° und n_{20} = 1,4742.

Das flüssige Harz der Benzinfraktion 96° bis 98° hatte folgende Elementarzusammensetzung: C = 58,53%, H = 8,61% und O = 32,86%, das Mol.-Gew. (kryoskop in Stearinsäure) = 157,4. Hieraus finden wir folgende allgemeine Formeln fur die flüssigen Harze:

$$(C_3H_5O_3); \qquad (C_7H_{11}O_2); \qquad (C_7H_{11}O_3).$$

Das in der Fraktion 103° bis 104° gefundene Harz wurde im Vakuum destilliert und der mittlere, größte Teil des Destillates analysiert.

Die Zusammensetzung des Vakuumdestillates des flüssigen Harzes war folgende: C = 65,95%, H = 8,96% und O (Diff.) = 25,09%, das Mol.-Gew. (mit Stearinsäure) = 145,6.

Zieht man die Siedepunkte der Benzinfraktion in Betracht, so kann man einerseits in ihr Kohlenwasserstoffe von C_6 bis C_8 annehmen, anderseits lassen die Molekulargewichte der flüssigen Harze und ihr Sauerstoffgehalt die Annahme zu, daß man es bei der Harzbildung vornehmlich mit Oxydationsvorgängen zu tun hat.

Vergleicht man die physikalischen Konstanten und die Elementarzusammensetzung der Harze aus Brennschieferbenzinfraktionen mit den Eigenschaften und der Zusammensetzung der aus dem Erdölbenzin (durch Einwirkung des Sonnenlichtes) erhaltenen flüssigen Harze, die von *Le Roy G. Story*, *R. W. Provine* und *H. T. Bennett* [5] untersucht worden sind, so findet man zwischen beiden Produkten große Ähnlichkeit. Das genannte Erdölharz war eine dunkelbraune viskose Flüssigkeit mit dem spezifischen Gewicht 1,0932 bei 20°/20° und von folgender Zusammensetzung:

C = 64,97%; H = 8,56%; O = 26.08%;
S = 0,22%; das Mol.-Gew = 172.

Da das Erdölbenzin und seine Fraktionen ein Gemisch einzelner chemischer Verbindungen darstellen, ist die Verfolgung des Reaktionsverlaufes der Harzbildung erschwert.

Deshalb beschloß Verfasser, die Autoxydation der reinen Diolefine zu untersuchen, um dadurch Angaben zu erhalten, die zur Klärung der Harzbildung in den Krack-Benzinen verhelfen könnten.

Autoxydation der Diolefine

Zur Untersuchung der Autoxydation dienten folgende Verbindungen: a. Hexadien (1,5) mit isolierten Doppelbindungen, Kp. 59—60°. b. Hexadien (2,4) Kp. 81—82°. c. 2-Methylpentadien (2,4) Kp. 73—74° und d. 2,3-Dimethyl-butadien (1,3) Kp. 69,5°. Die drei letzten enthalten konjugierte Doppelbindungen und können für Dimethylderivate des Butadiens (1,3) angesehen werden.

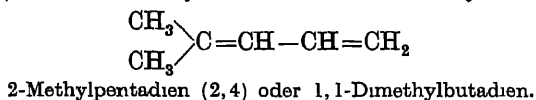
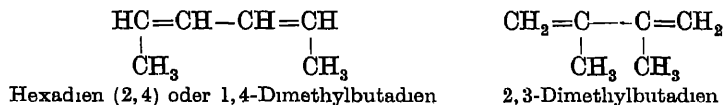
$$\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{HC}}=CH-CH=\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}$$

Hexadien (2,4) oder 1,4-Dimethylbutadien

$$CH_2=\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}=CH_2$$

2,3-Dimethylbutadien

$$\begin{matrix}CH_3\\CH_3\end{matrix}\!\!>C=CH-CH=CH_2$$

2-Methylpentadien (2,4) oder 1,1-Dimethylbutadien.

Diese Betrachtungsweise ermöglicht einen Überblick über den Einfluß der substituierenden Gruppen auf die Reaktionen in den Molekülen.

Die Sauerstoffabsorption wurde mit einem in Quecksilber gestellten Eudiometer gemessen. Zu Beginn des Versuches wurde eine gewogene Substanzmenge auf den Quecksilberspiegel im Eudiometer gebracht

und danach das Eudiometer mit Sauerstoff so weit gefüllt, daß der Stand des Quecksilber-Meniskus gut ablesbar war.

Die Ablesungen gingen anfangs alle 2 bis 4 h vor sich, späterhin einmal am Tage. Die Raumtemperatur schwankte von 20 bis 26° und einer Einwirkung von direktem Sonnenlicht war vorgebeugt.

Die Durchführung der Versuche erfolgte dann bei denselben äußeren Bedingungen, unter welchen eine Harzbildung in den Krack-Benzinen auftritt, d. h. bei gewöhnlichem Druck und Zimmertemperatur.

Beim Eudiometerversuch mußte mehrfach Sauerstoff nachgefüllt werden. Parallel mit diesen Versuchen wurden andere mit Diolefinen und Luft durchgeführt. Während der Versuchsdauer wurden sorgfältige Notierungen gemacht betr. Lufttemperatur am Eudiometer und Barometerstand.

Bereits in den ersten Wochen ergab sich die interessante Tatsache, daß Diolefine, wie Hexadien (1,5) oder Diallyl, mit *isolierten Doppelbindungen keinen Sauerstoff absorbieren.* Selbst in 3 Monaten war keine Absorption zu beobachten und auch die Farbe des Diallyls hatte sich nicht verändert. Wenn *F. Cortese* [7] beim Aufbewahren von Diallyl das Auftreten einer gelblichen, viskosen Flüssigkeit beobachtet hat, so konnte Verfasser bei seinen Versuchen, die vom 12. März bis 20. Juli 1928 dauerten, beim Aufbewahren von Diallyl keine Verharzungserscheinungen beobachten. Alle drei Olefine mit konjugierten Doppelbindungen zeigten dagegen eine verhältnismäßig lebhafte Sauerstoffabsorption.

Folgende Tabelle 4 enthält die Zahlenwerte für die Sauerstoffabsorption.

Tabelle 4. Sauerstoffabsorption der Diolefine mit konjugierten Doppelbindungen

Zeit in Stunden	cm³ Sauerstoff absorbiert bei 0° und 760 mm		
	Hexadien (2,4)	2-Methylpentadien	Dimethylbutadien
2	1,80	2,87	—
19	11,30	20,27	—
24	16,41	23,77	0,80
42	29,68	40,71	2,29
66	—	—	6,66
73	51,79	61,16	—
89	—	—	12,91
115	74,29	78,29	—
138	—	—	39,07
191	97,69	96,96	—
235	—	—	72,84
330	131,09	127,29	100,03
450	150,68	151,99	—
497	—	—	130,23
571	173,49	169,68	—
762	—	—	159,09
834	204,52	194,17	—
978	—	—	182,21
1122	228,15	213,51	—
1698	254,95	236,07	—
1944	—	—	182,22
2802	275,36	248,80	—
3114	276,27	247,44	—

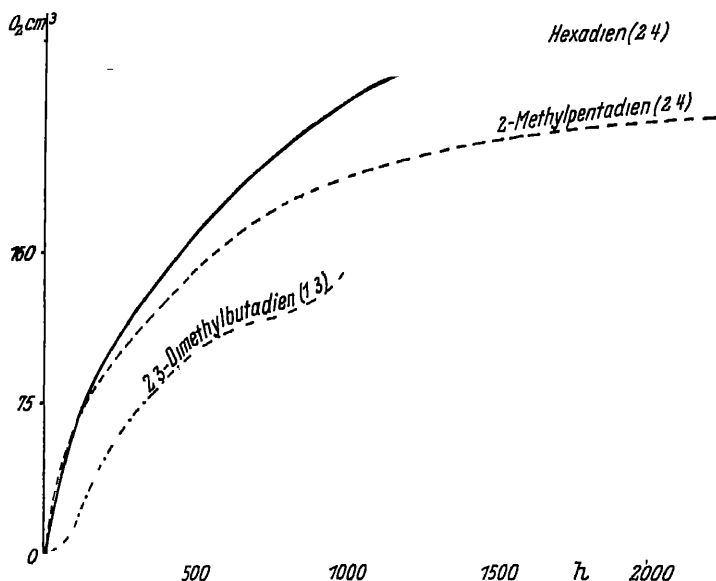
Wie aus Tabelle 4 ersichtlich, beträgt die vom Hexadien (2,4) absorbierte Sauerstoffmenge 276 cm³ oder 0,3944 g, was 46,55% des angewandten Diolefins und 31,77% des erhaltenen Oxydationsproduktes entspricht.

Das Methylpentadien absorbierte 248 cm³ oder 38,8% vom Gewicht des Diolefins oder 27,97% des Oxydationsproduktes.

Das 2,3-Dimethylbutadien absorbierte schließlich bloß 182 cm³ = 0,2604 g Sauerstoff, was 24,06% des Kohlenwasserstoffgewichtes oder 17,87% des Oxydationsproduktes entspricht.

Die Resultate der Mikroelementaranalysen der Oxydationsprodukte finden sich in Tabelle 5.

Tabelle 5[3]. Zusammensetzung der Oxydationsprodukte der Diolefine

Verbindung	Menge mg	H_2O mg	CO_2 mg	Mittlere % C	H	O	absorbierte O_2-Menge % (aus Eudiometerversuch)
Hexadien (2,4) ..	5,558	4,48	12,72	62,43	8,97	28,60	31,77
	4,952	3,39	9,72				
2-Methylpentadien (2,4)	4,784	3,87	11,22	63,89	8,99	27,12	27,97
	5,225	4,17	12,23				
2-3-Dimethylbutadien	2,663	2,548	7,240	73,86	10,72	15,42	17,87
	6,207	5,959	16,754				

Vergleichende Zusammenstellung der Autoxydations-Geschwindigkeiten der Diolefine

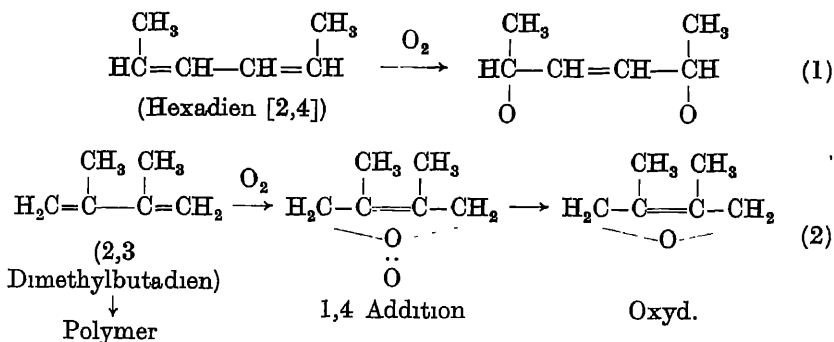
[3] Die Mikroelementaranalysen wurden von Dr.-Ing. *A. Laur* ausgeführt

Zu den Versuchen waren genommen worden 0,8472 g Hexadien (2,4) ca. 1/103 Mol, 0,9351 g 2-Methylpentadien = 1/88 Mol. und 1,0820 g 2,3-Dimethylbutadien oder ca. 1/76 Mol. Im Diagramm sind die Stoffmengen und entsprechend auch die absorbierten Sauerstoffmengen auf $^{1}/_{103}$ Mol. reduziert.

Infolge der Oxydation waren die wasserhellen beweglichen Flüssigkeiten viskos geworden: die Oxydationsprodukte von 2-Methylpentadien und Hexadien (2,4) ahneln sehr den flüssigen Harzen, die in Krack-Benzinen beim Stehen an der Luft auftreten, es sind bernsteingelbe, syrupartige Flussigkeiten, während das Oxydationsprodukt von Dimethylbutadien eine schwarzlich-braune viskose Flussigkeit darstellt. — Die schwärzlich-braune Farbung scheint in diesem Falle durch sekundäre Reaktionen veranlaßt zu sein, denn die Oxydations- bzw. Polymerisationsprodukte, die man durch Aufbewahren von Dimethylbutadien in Ligroinlösung erhalt, sind ebenso bernsteingelb wie die im Hexadien (2,4) entstandenen

Vergleicht man die bei der Elementaranalyse erhaltenen Sauerstoffmengen mit den eudiometrischen Messungen, so ist das Ergebnis der absorbierten Sauerstoffmenge großer als die, welche in den flussigen Produkten nachweisbar ist. Der Beobachtungsfehler kann bei den eudiometrischen Messungen bis zu 1% steigen, was durch Schwankung des Quecksilberniveaus der Wanne, wahrend der Beobachtungen, bedingt wird, jedoch ist trotz Berücksichtigung dieses Fehlers die absorbierte Sauerstoffmenge tatsachlich etwas größer, als die Elementaranalyse sie zeigt. Es besteht die Moglichkeit, daß ein Teil des Sauerstoffes in Form von gasformigen Produkten, wie CO_2 und H_2O vorliegt, welche zum Schluß der Versuche nicht bestimmt wurden. Wenn wir am Schluß der Versuche den Quecksilberstand im Eudiometer berucksichtigen, laßt sich sagen, daß die Menge der gasförmigen Produkte nicht erheblich sein konnte.

$$\underset{\text{(Hexadien [2,4])}}{\overset{CH_3}{\overset{|}{HC}}=CH-CH=\overset{CH_3}{\overset{|}{CH}}} \xrightarrow{O_2} \underset{\underset{O}{|}}{\overset{CH_3}{\overset{|}{HC}}}-CH=CH-\underset{\underset{O}{|}}{\overset{CH_3}{\overset{|}{CH}}} \qquad (1)$$

$$\underset{\substack{\text{(2,3 Dimethylbutadien)} \\ \downarrow \\ \text{Polymer}}}{H_2C=\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}-\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}=CH_2} \xrightarrow{O_2} \underset{\text{1,4 Addition}}{H_2C-\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}=\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}-CH_2 \;\; \underset{\underset{O}{:}}{-O-}} \longrightarrow \underset{\text{Oxyd.}}{H_2C-\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}=\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}-CH_2 \;\; -O-} \qquad (2)$$

Die Autoxydationsversuche ergeben die interessante Tatsache, daß das Hexadien (2,4) und das 2-Methylpentadien (2,4) nur ein Mol. Sauerstoff absorbieren; theoretisch enthalt $C_6H_{10}O_2$ 28,05% Sauerstoff. Das 2,3-Dimethylbutadien absorbierte bloß ein Atom Sauerstoff, theoretisch enthalt $C_6H_{10}O$ 16,31% Sauerstoff. Im ersten Falle kommt auf eine Doppelbindung ein Atom Sauerstoff entsprechend dem, was *Chatterji*

und *Finch* [8] für die Sauerstoffabsorption des Leinols nachwiesen Bei der Oxydation von Amylenen konstatierte *C Engler* [9] die Bindung von zwei Sauerstoffatomen mit einer Doppelbindung. Gemaß der Hypothese von *Staudinger* [10] addiert sich der Sauerstoff an Doppelbindungen als molekularer Sauerstoff, bei nachfolgender Umlagerung zu Peroxyd; im Falle des Hexadien (2,4) und 2-Methylpentadien (2,4) kann dieselbe Hypothese angewandt werden, allerdings bei Annahme einer Addition der Sauerstoffmolekel an die 1,4-Stellen.

Zwecks Erlangung erganzender Daten zum Reaktionsmechanismus der Autoxydation von Diolefinen wurden die Molekulargewichte der Oxydationsprodukte bestimmt. Hierbei erwies es sich, daß die Natur des Losungsmittels und die Stoffkonzentration einen großen Einfluß auf die Molekulargewichtsbestimmung ausuben

In folgender Tabelle finden sich die erhaltenen Molekulargewichte, nach der kryoskopischen Methode bestimmt

Tabelle 6 Molekulargewichte der Oxydationsprodukte

Oxydationsprodukte	Molekulargewichte bestimmt mit verschiedenen Lösungsmitteln		
	C_6H_6	$C_6H_5COCH_3$	CH_3COOH
1. Methylbutadien	355	170	—
2. Dimethylbutadien	318	124	153

Aus den Bestimmungen der Molekulargewichte ergibt sich, daß diese bei Verwendung von Benzol mehr als doppelt so groß ausfallen wie mit anderen Solventien Auch die kleinsten erhaltenen Werte sind dabei immer noch großer als die Molekulargewichte der Oxyde und Peroxyde der vorliegenden Diolefine (98 und 114)

Die Polymerisation kann hier in zweierlei Weise verlaufen. Polymerisation der Monomeren oder des Oxyds oder Peroxyds. Es erscheint wahrscheinlich, daß im Falle der beiden ersten Kohlenwasserstoffe, und zwar des Hexadien (2,4) und 2-Methylpentadien (2,4), in der ersten Oxydationsperiode Oxydation vorherrscht, während in der zweiten Periode Polymerisation stattfindet. Beim Dimethylbutadien, wo die Induktionsperiode verhaltnismaßig lang ist, scheint die Reaktion anders zu verlaufen. Zur Klarung des Reaktionsmechanismus waren weitere Daten notwendig. Zusammenfassend sehen wir, daß die relative Stellung der doppelten Bindungen in der Kette, wie auch die Stellung der substituierenden Gruppen in den Molekeln die Sauerstoffabsorption merklich beeinflussen

Da bei den obigen Diolefinen die Oxydation als Hauptreaktion auftritt, so drangt sich die Frage auf, ob es nicht moglich ware, die Reaktion mit geeigneten Antikatalysatoren so zu hemmen, wie es bei Akrolein und Dipropargyl von *Mouren* und *Dufraisse* [11] durchgefuhrt worden ist. Entsprechende Versuche sind auch bereits mit Krack-Benzinen angestellt worden [12]. Verfasser hat auch experimentell nachgewiesen, daß die Harzbildung in Brennschieferbenzin durch Hydrochinon behindert wird. Versuche mit Motoren haben erwiesen [13], daß die Stoffe,

welche zur Harzbildung neigen, keinerlei schadliche Wirkung auf das Funktionieren des Motors ausuben, und so erscheint es durchaus moglich, die Raffinationsverluste von Krack-Benzinen in Zukunft erheblich herabzusetzen durch Stabilisation der harzbildenden Komponenten mit geigneten Antisauerstoffkörpern. Das Beseitigen der Olefine und Diolefine mit Schwefelsäure würde somit entbehrlich werden. Weil nun die Autoxydation der Diolefine — was den Reaktionsmechanismus betrifft — in verschiedener Weise erfolgen kann, so ist bei jedem Krack-Benzin experimentell festzustellen, welche Diolefine sich stabilisieren lassen und welche dennoch mit Schwefelsaure zu raffinieren waren.

Die in vorliegender Arbeit genannten Praparate sind zum Teil vom Verfasser hergestellt worden, Hexadien (2,4) und 2-Methylpentadien sind ihm in zuvorkommender Weise von Dr. *Frank Cortese*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., uberlassen worden, wofür ihm hier der verbindlichste Dank ausgesprochen sei. Desgleichen erachtet es der Verfasser als angenehme Pflicht, an dieser Stelle seinen Dank dem Herrn Prof Dr. *E. P. Kohler*, Harvard University, Cambridge, Mass , U.S.A., auszusprechen, in dessen Laboratorium im Jahre 1928 vom Verfasser die Versuche uber Autoxydation ausgefuhrt wurden.

Summary

The researches of the author show that petrols or gasolines obtained by destructive distillation of certain asphalt-base oil shales are similar in composition to the cracked gasolines obtained by cracking oil well petroleum. There are two kinds of shale gasolines (a), primary, obtainable directly on condensation of the light oil vapours during the distillation of an oil shale, and (b), secondary or cracked-shale oil gasolines, which are formed on cracking heavy fractions of shale oils Both are characterized by a high percentage of unsaturated compounds, but the latter contain more aromatics and naphthenes. It is well known that all unrefined cracked gasolines deposit so-called "gums" or fluid resins on exposure to air

The gums formed in some fractions of shale gasolines on standing are similar in character to those formed in cracked petroleum gasolines The formation of white crystalline compounds on standing was observed by the author in some fractions of light shale oil.

In order to obtain some clue to the nature of the compounds responsible for gum formation, the behaviour of four diolefines *i e.*, hexadiene (1 5), hexadiene (2 4), 2-methylpentadiene (2 4), and 2 3-dimethylbutadiene (1 3) during autoxidation was studied

The results of these experiments show that diolefines with isolated double-bonds (resp. diallyl) absorb practically no oxygen during three months at ordinary temperature (19 to 27° C) Hexadiene (2 4) and 2-methyl-pentadiene (2.4) both absorbed one molecule of oxygen per pair of double-bonds; 2.3-dimethylbutadiene (1.3) absorbed only one atom of oxygen per molecule of the compound Probably a 1 4-addition of oxygen occurs in the case of hydrocarbons with conjugate double-bonds

The compounds formed on autoxidation of pure diolefines are somewhat reminiscent of the gums found in cracked spirits In the case of unsaturated hydrocarbons the main reaction proceeding during autoxidation is really an

addition of oxygen, and only in special cases does the polymerisation play an important part. By analogy, the gum formation in cracked gasolines is primarily an oxidation reaction, and a study of suitable anti-catalysers would lead to the discovery of compounds which "stabilize" the cracked gasolines and would help to reduce the refining losses.

Literaturverzeichnis

[1] *Riesenfeld* und *Bandte*, Auto-Technik 1927, Nr 6, S. 7—9.

[2] *P N Kogerman*, The Oil Shale Industry of Esthonia, Tartu 1927, S. 33—36

[3] *J. S S. Brame* and *T. G. Hunter*, Journ Inst. Petr. Techn. 1927, *13*, 794 ff

[4] *B. T Brooks* and *J. W. Humphrey*, Journ. Amer. Chem Soc. 1918, *40*, 852.

[5] *Le Roy G Story*, *Robert W Provine* and *H. T. Bennett*, Ind. Eng. Chem. 1929, *21*, Nr. 11, p. 1083

[6] *P N. Kogerman*, Journ. Inst. Petr. Techn. 1927, *13*, Nr. 63, pp 612—615.

[7] *F. Cortese*, Journ. Amer. Chem. Soc. 1929, *51*, 2266—69

[8] *N G. Chatterji* and *J. G. Finch*, Journ. Soc. Chem. Ind 1926, *45*, pp 333—335.

[9] *C Engler*, Berichte 1898, *31*, 3050.

[10] *H. Staudinger*, Berichte 1925, *58 B*, 1075

[11] *C Mouren* et *C Dufraisse*, Compt. rend. 1922, *175*, 127.

[12] *C R. Wagner* and *J Hyman*, Journ. Inst Petr Techn 1929, No 77, p. 80.

[13] *S J. M. Auld*, ibid p. 65.

Nr. 63

Great Britain

The Economic Aspect of the Future Supplies of Diesel Fuel Oil in Connection with the Development of the Diesel Engine

Institution of Petroleum Technologists

J. Kewley

In this paper the word "gasoline" is used to designate motor spirits, essence and benzine, the word "distillate-fuels" to designate such fuels as are known as gas oils, solar oils, heavy kerosines, etc which are distillates containing little or no residual oil; the word "residual oil" to designate the dark oils resulting as residues from the distillation process This nomenclature is necessary as oils which are known as furnace or fuel oils in the U.S.A. would be termed gas oils in the U.K. To ensure clarity terms such as petrol, naphtha and benzine are avoided For similar reasons the two main types of engines are referred to as spark-ignition and compression-ignition.

During its somewhat meteoric career, the petroleum industry has experienced more than one important change of centre of gravity in respect of the products made from the crude. In the early days kerosine or illuminating oil was the all-important product, gasoline and liquid fuel being of little or no importance, the former being indeed a waste product. In those early days, as was natural, every effort was made by the refiner to produce the largest possible yield of kerosine from the available supplies of crude This, therefore, was made with a long boiling range including as much of the volatile fractions as the statutory limits for flashpoint would allow and as much of the heavy fractions as the methods of refining to a stable product of good colour would permit With the advent and rapid development of the spark-ignition internal combustion engine, the demand for gasoline changed the situation, so that the centre of gravity of the industry swung over to the production of the lighter fractions The displacement of kerosine from its important position was accentuated by the development of the burning of liquid fuel in furnaces and boilers, especially for marine purposes, and by the extended use of electric lighting, so that the once dominant product was displaced to a position of quite secondary importance.

It is hardly possible that such a violent change of centre of gravity can again be experienced, because the applications of other petroleum pro-

ducts are so rapidly extending in so many directions that no single product can ever again occupy the dominating position which gasoline has occupied during the last two decades. As examples may be mentioned the extension of the uses of asphalt for road making purposes and for other industrial purposes; of lubricating and other oils resultant from the development of the internal combustion engine and of the electrical industries, as well as of machinery in general; and of gas oil or light distillate-fuels for the ever-increasing number of compression-ignition engines The question of the future centre of gravity of the industry becomes, therefore, rather complicated. However, as long as the bulk of the petroleum produced is used in some form or other as fuel, the development of the various types of internal combustion engine must be the factor of prime importance.

The internal combustion engine is developing along two definite lines, that of the spark-ignition engine and that of the compression-ignition engine, two types which demand two entirely different types of fuel. At first sight there would seem little overlap in the matter of supplies. This is, however, not the case as fuels for both types of engines are derived from the same source, namely crude petroleum, and the supply of one type of fuel is definitely affected by the supply of or demand for the other type, quite apart from considerations of supply and demand for other petroleum products used as fuels. An increase in the demand for one product naturally results in an effort on the part of the manufacturers to increase the yield of that product from the crude oil. The splitting up of the crude oil is primarily effected by distillation, and the products are defined to some extent by their boiling ranges. As a certain amount of variation or flexibility in properties is permitted in the practical use of internal combustion engine fuels, the crude oil refiner can vary to some extent the relative yields of the two types of fuel from the crude. Thus the yield of kerosine can to some extent be increased or decreased at the expense of gasoline on the one side, distillate fuel on the other. Moreover, some considerable further flexibility in this process is possible owing to the modern developments of the cracking process, which enables the refiner to convert heavy oil, to a large extent, into light gasoline. This process is, however, a complicated one and the extent to which it can be applied depends on the relative prices obtainable for the crude cracking material and the resulting cracked products. Further complications arise from the fact that the distillate liquid fuels or gas oils are not entirely primary products of distillation but are to some extent secondary products resulting from the manufacture of other products, the demand for which may fluctuate quite independently of that for fuels. Distillate fuels such as gas oil result as by-products in the manufacture of lubricating oil and asphalt and also from the operation of the cracking process It is obvious, therefore, that unless some unforeseen and totally unexpected development, such as a complete elimination of the spark-ignition type of engine by the compression-ignition type takes place, the centre of gravity of the petroleum industry can never again be dominated by one product as was the case in the early days.

At the present time the developments which are taking place in the automobile industry, in the use of compression-ignition engines on land and sea, and in the uses of lubricating oil and of asphalt are not taking place at equal rates, nor do their relative rates of development at present depend exclusively on the relative proportion in which the petroleum industry can supply the various components required. But the rates of development of these industries must eventually depend mainly on the supply and price of suitable oil fuels, taking into consideration of course the efficiencies with which the various oils can be used.

The object of this paper is to consider the questions of fuel supply in relation to engine development, the directions in which changes in demand and supply may take place, and the ways in which they may be met, and to endeavour to suggest the direction in which the approach to equilibrium lies, in order that a closer co-operation between engine manufacturers and fuel suppliers, resulting in a better mutual understanding of the position and each other's problems, may prevent the occurrence of violent fluctuations in development and demand with their consequent ill effects on industry in general

To approach the discussion of this subject one must study the developments which have taken place during the last few years and those which are taking place at the present time, and try to look ahead and forecast the directions in which such developments will proceed in the near future. The main points therefore which must be studied are.

a The possibilities of future production of petroleum supplies. The possibilities of supplies of alternative fuels other than petroleum, and the qualities of such fuels.

b. The proportions in which the various products result when the crude is worked up.

c. The increasing demand for gasoline and distillate fuels for compression ignition engines, and the way in which they have been met.

d. The direction in which the relative developments of internal combustion engines will turn the future demand for petroleums fuels.

e The effect of demand of other fuel users and of the demand for other products or purposes on the supplies and qualities of the heavier fuels.

f The extent to which the petroleum industry can adapt itself to varying demand for such fuels.

g The line of development which such considerations indicate the manufacturers of Diesel engines should follow

(a) The question of future supplies of crude petroleum can be answered definitely in relation to the time factor. It is certain that petroleum in common with other natural products is being used up far faster than it is being made by natural processes, so that exhaustion is a question of time, but it is equally certain that the supplies available are sufficient for so many years to come, even if the present rate of increase of con-

sumption is maintained, that no anxiety on this score need be at present entertained.

The accompanying table shows the world production of crude oil for the last ten years:

Table 1

Year	tons	% increase
1919	77,875,100	—
1920	99,027,990	27.2
1921	109,295,000	40.3
1922	122,673,500	57 5
1923	145,557,100	86 9
1924	144,734,100	85 9
1925	152,509,400	95 8
1926	156,658,400	101 2
1927	178,878,000	129 6
1928	189,500,000	143 3

These figures, which look so large when expressed in tons, dwindle to insignificance if expressed in terms of a unit, such as the cubic mile, in terms of which rock might be measured. The total world's production to date falls far short of one cubic mile. The estimation of future oil reserves with the data at present available is a difficult if not an impossible problem, For example, California alone has produced more oil than the total which was estimated as the available supply thirteen years ago, and California is far from being exhausted. Apart from the development of new areas, deeper drilling in existing fields is opening up new and prolific sources of supply and bringing to life again fields which were considered as moribund or dead. Moreover, present methods of extraction leave the bulk of the oil below. It is no exaggeration to say that for every ton extracted at least three tons are left below. The extraction of this great reserve is a problem which faces the industry today, but which is certainly capable of solution. The author refrains from making any rash guesses as to future supplies but feel confident that there is ample for all requirements for many years to come. Assuming, however, the exhaustion of petroleum supplies there are available enormous quantities of shale which, on distillation but at a greater cost, yields oil closely resembling petroleum in character. The potential supplies of such oils are so great as to take us right out of our field of view. It is not the purpose of this paper, however, to discuss the situation so far ahead, but to consider only the developments of the next few decades, when ample crude oil supplies will still be available. This brings us to the second point

(b) Crude petroleum is the basis for the manufacture of many types of fuel and other products; gasoline, kerosines, distillate fuel oils and residual fuels on the one hand, lubricating oils, paraffin wax and asphalt on the other. Crude oils from various fields show great divergencies in character, both in respect of type, yield and quality of the various products. Most crude oils yield some gasoline, all some distillate fuel by primary distillation, all can be made to yield gasoline by the special crack-

ing processes. (This will, however, for the moment be ignored as it is not a primary process) Lubricating oils can be extracted from or left in the residual fuel as required, so can paraffin wax: thick residual fuel can be worked up into asphalt and thin distillate fuels; kerosine fractions can be partly diverted into distillate fuel or vice versa, and so forth, according to demand. But there are obviously limitations to such flexibility. Such variations are illustrated by the data given in.

Table 2 Principal products made from average U S A crude

Year	Gasoline	Kerosine	Fuel Oils	Lubricants
1899	12.9%	57 6%	14.0%	9.1%
1904	10 3%	48 3%	12 8%	11 6%
1909	10 7%	33 0%	33 6%	10 7%
1914	18 2%	24.1%	46.5%	6.6%
1919	25 2%	15 4%	50.2%	5 6%

A critical examination of the complete significance of these figures is beyond the scope of this paper The relative changes in the figures for gasoline and kerosine prior to 1919 sufficiently illustrate the point.

(c) The increasing demands for fuels for spark-ignition and compression-ignition engines, the changes which are taking place in this field and the way in which they have been met by the petroleum industry up to the present are illustrated by further data. In the following table figures illustrating the growth of the automobile industry are given:

Table 3 World Motor Vehicle Registration

Year	United States		Rest of world		Total World	
	No.	increase	No.	increase	No.	increase
1919	7,565,446	—	1,286,948	—	8,852,394	—
1922	12,239,853	62%	2,379,091	85%	14,618,944	65%
1925	19,954,347	165%	4,519,282	251%	24,473,629	177%
1928	24,493,124	224%	7,285,079	466%	31,778,203	259%

Table 4

Year	Total production of gasoline U.S.A. in barrels	Yield on crude oil %
1905	7,900,000	5.91
1914	34,900,000	13.14
1917	64,290,000	21.15
1919	94,235,000	25 2
1920	116,704,000	26 1
1921	122,704,000	27 1
1922	147,672,000	28 8
1923	179,903,000	30 0
1924	213,326,000	31.2
1925	259,601,000	32 4
1926	299,734,000	34 9
1927	330,435,000	36.0
1928	377,183,000	37 5

The way in which the petroleum industry has responded to this rapidly increasing demand is illustrated by the figures given in table 4, taken from United States statistics (As the United States produces nearly 70% of the world's total supply of gasoline these figures will suit our purpose sufficiently well.)

From these figures it will be seen that (1) in the early days when kerosine was still the dominant product the increased demand for gasoline was met by increasing the yield obtained from the crude oil by simple distillation, at the expense of the kerosine, the gasoline changing in quality accordingly, (2) that the yield of gasoline apparently still goes on increasing. There is a point here, however, that the figures given in this table do not bring out and that is that about 25% is the maximum yield of usable gasoline which is obtainable by ordinary distillation methods. Up to about 1920 therefore the gasoline produced was almost entirely of the straight run (or simply distilled) type and the demands of the automobile industry were thus adequately met. About that time the demands of the automobile industry for gasoline began to exceed the supplies available from the crude produced at that time. These demands could only be met by (1) increasing crude production in excess of the demands for the other products, or by (2) increasing the yield of gasoline at the expense of the other products. The second of these alternatives was adopted and the means of effecting it was found in the newly developed cracking process By the aid of this process the yield of gasoline from the crude was increased considerably at the expense of another component of the crude, which was in excess of requirements, that component being the distillate fuel The growth of this new process is illustrated by the figures given in·

Table 5 Production of Gasoline by Cracking

Year	Barrels
1918	8,500,000
1920	15,000,000
1922	30,000,000
1924	40,000,000
1926	93,736,000
1928	122,381,000

About the same time the increasing demand for gasoline initiated another industry, viz. the extraction of light or volatile gasoline from the vast quantities of natural gas which many oilfields produce These light fractions are valuable because of their volatility and good antiknock value. The annual production of this so-called natural gasoline now is estimated at about 47,000,000 barrels The effect of these two new developments on the gasoline position is shown by the data of table 6.

In the future these relative proportions will show still further changes. The percentage of straight run gasoline, of the present type, to be extracted from the crude oil cannot increase, the supply of this commodity

Table 6. Estimated % of Total Gasoline Made in U. S. A. by the Three Methods

Year	Straight Run %	Cracked %	Natural %
1918	89	10	1
1924	74	19	7
1926	60	31	9
1928	58	32	10

will only increase pro rata with crude oil production. The percentage of natural gasoline will increase to some extent as in many fields the gas is not yet fully worked up for gasoline. The main increase is, however, to be looked for in the cracked gasoline, as this is obtainable from the heavier fuels. This increased yield of gasoline is thus being effected mainly at the cost of the component, a distillate fuel of the gas oil type, which is the product most in favour for compression-ignition engines, so that the supply of light spark-ignition engine fuel is being increased at the expense of the compression-ignition engine fuel. What will this mean in the future?

Of recent years the compression-ignition engine has been much improved and is being developed in directions which should make it much more available for general use, and eventually for transport purposes. A discussion of the relative advantages of these two types of engines is beyond the scope of this paper. Suffice it to say that the lower consumption and particularly the present lower price of the fuels used by the compression-ignition engine are its two most attractive features. The use of these engines in their present state of development is increasing by leaps and bounds. The yearly sales in the United States are given in:

Table 7

Year	Yearly sales in h p	% increase
1919	70,000	—
1922	85,000	21 4
1923	140,000	100.0
1924	200,000	186
1925	330,000	372
1926	285,000	307
1927	375,000	437
1928	420,000	500

This h p is distributed approximately as follows.

Central electric stations	18%
Oil pipeline pumping stations	20%
Marine	26%
Refrigerating plants	5%
Others	31%
	100%

The Diesel engined ship is rapidly developing In 1914 the total tonnage of such vessels was only 234,000 but in 1922 it had increased to

1,542,000. At present it has reached 6,628,102. About 40% of the tonnage now under construction will be driven by Diesel engines.

Although many Diesel engine manufacturers claim that their engines will operate successfully on residual fuels, general practice is to use distillate oils The reason for this is certainly not any real inability on the part of Diesel engines to burn residual fuels but largely to the difficulties of storing and heating thick residuals and of clearing them from foreign insoluble matter. In this connection one may recall the fact that Dr. Diesel's original idea was that of an engine to burn powdered coal and note that efforts in this direction are still being made, and that some measure of success has actually been attained.

Figures for the production of distillate and residual fuels in the U.S.A. since 1919 are given in:

Table 8

Year	Tons	Percentage on crude oil
1919	30,267,000	50.2
1921	38,349,000	51.9
1923	47,913,500	49.5
1925	60,832,000	49 3
1927	65,511,000	47 4
1928	70,956,000	46.7

There is obviously no tendency for the yield of fuel oils from the crude to increase. It is unfortunately difficult to obtain accurate statistics showing the relative proportions in which distillate fuels (gas oils) and residual fuels are produced. There is no source from which accurate information as to the quantity of distillate fuel used for cracking can be obtained, so the increased demand from this source must be judged by the increase in production of gasoline made in this way, vide tables 5 and 6.

The increasing demands for gasoline and for compression-ignition engine fuels have thus so far been met by the petroleum industry (a) for gasoline, by increasing the production of crude oil and by increasing the yield of gasoline by means of the cracking and natural gas industries, (b) in the case of compression-ignition fuels by no special effort as the increase in the production of crude oil has so far been able to supply the demand The vital question for Diesel engine manufacturers is, however, to what extent or for how long the industry will be able to meet the rapidly increasing demands for distillate-fuel oils before the law of supply and demand brings about the inevitable increase in price. In any attempt to answer these questions further factors must be discussed, viz the trend of future development in Diesel engines, the demand of users of distillate fuels for other purposes and the possibility of increased yield of distillate fuels as by-products when making other products.

(d) Of the future demands for petroleum internal combustion engine fuels of both types it may be safely said that the present rate of in-

crease will be maintained and even exceeded. The demand for compression-ignition fuels is as yet only in its infancy. The trend of future development of Diesel engines is certainly in the direction of (1) increased production of the existing type and of (2) the development of a high speed type of engine. This latter is probably the more important as the reduced weight per h.p. of such engines opens out their possibilities for use for transport purposes, for tractors and trucks, for railway locomotives, for ships and barges, possibly for automobiles and even for aeroplanes or air ships. It is impossible to forecast the extent of such developments but there is no doubt about the result. A very considerable increase in the demand for distillate fuels will arise. The increasing demand for gasoline will be met by increasing the production of crude, by increasing the yield of gasoline by improved cracking methods and by altering the design of spark-ignition motors so as to run on less volatile fuels. Such demand could be further met by alternative fuels such as alcohols. A large increased demand for Diesel fuels of the distillate type could also be met by increasing the yield of such fuels by including kerosine fractions, or by distilling down to thicker residual fuels, to both of which processes there are objections. The controlling factor is really price and as there are other competitors for these distillate fuels, an important question is the effect of this competition.

(e) The problem is complicated by the fact that there are not only other important and rapidly growing demands on the supplies of the distillate fuels but also that on the other hand there is a growing industry which affects the production of such distillate fuels as a by-product There is a steady demand for gas oils for gas enriching purposes, but this demand is not likely to show any rapid increase. But the developments which are rapidly taking place in the use of automatic central oil heating plants, not only for factory and office purposes, but also for domestic purposes, are creating a rapidly increasing demand for these distillate fuels. The Oil Heating Institute estimates that in 1929 there were over 600,000 domestic oil burners in houses in the U.S.A. and that in the spring of 1930 this number would be increased to 800,000. The growth of the demand is shown by the following figures:

Table 9

	Number of domestic burners operating	Tons of oil used
January 1921	12,500	—
1923	58,800	—
1925	181,800	402,600
1927	221,500	1,261,300
1929	422,700	1,765,100

The increase which has taken place during the last five years is an interesting example of the economic trend of the times. The potential market for fuel oils in this direction can well be imagined. Apart from the demand for oil for domestic heating there is that for commercial

oil heating to be considered. The Oil Heating Institute gives the following estimates for distillate oil fuel used for this purpose in the U.S.A.

Table 10

Winter	No of installations	Tons of oil used
1925/1926	24,000	1,710,000
1926/1927	27,800	1,980,000
1927/1928	30,300	2,164,000
1928/1929	33,550	2,393,000

The possibilities of expansion in these directions are certainly great. Reference has already been made to the demand caused by the cracking process for making gasoline from distillate fuels. On the other side of the picture must be noticed the growing asphalt industry. Asphalt is the solid or semi-solid sticky residue resulting from the further distillation of certain residual fuels. Asphalt, however, is a product which only a limited number of crudes can produce. Certain types of crude yield no asphalt, others yield it in such small proportion that its extraction is not an economic process. When such suitable residual fuels are distilled down to asphalt the distillate oils given off may certainly be used as compression-ignition engine fuels, so that an augmentation of the supply of these would apparently result from an increase in asphalt production. As the yield of asphalt depends on the nature of the residual fuel as basic material and as asphalt can be and is manufactured in various grades, it is impossible to say precisely that a definite quantity of asphalt made results in the simultaneous production of a definite quantity of distillate fuel. A very rough figure only can be stated. For every ton of asphalt made, about one-third of a ton of distillate fuel might result. Asphalt is supplied partly from natural sources (e. g. Trinidad Lake) partly from petroleum distillation The proportion supplied from petroleum is steadily increasing. The use of asphalt for road-making and for various industrial purposes is steadily increasing. Thus in 1918 the production in the U.S.A. was 1,202,420 t, while in 1929 it had reached 3,302,400 t It is practically impossible to forecast the extent to which the asphalt industry may develop. Out of a total of 300,000 miles of state and federal highways in the United States only 65,000 or so are yet paved with asphalt concrete or brick. The extent to which asphalt will be used for new construction in relation to tar, concrete and possibly rubber is a problem insoluble by the aid of existing data. On one point however there is certainty. increase in the mileage of good roads will bring about increased consumption of engine fuel whether it be spark-ignition or compression-ignition fuel.

Thus, the distillate fuels so much in favour for Diesel engine use, are also in great and increasing demand (a) for the manufacture of motor spirits by the cracking process, (b) for use for domestic heating purposes. It is indeed true that both these demands are increasing at great rates. The increasing asphalt industry is doing something to augment the supplies of distillate fuels. But there is yet another demand which merits much consideration, namely that which will result from the impending

development of the high speed Diesel engine. The advent of this type will enormously widen the field of application of the Diesel engine. The demand so brought about will be for fuels of the distillate type, as the high speed Diesel engine will certainly in its initial stages at any rate be less capable of running on residual fuels than the existing types of relatively slow speed engines.

(f) What can the petroleum industry do to adapt itself to such changing conditions? The main primary products made from crude petroleum are:—

1. Gasoline.
2. Kerosine.
3. Gas oils or distillate fuels.
4. Residual oils.

The maximum yield of gasoline made as a primary product suitable for modern auto-engines has already been reached. The yield of primary (or straight-run) gasoline could be increased at the expense of the kerosine fraction by increasing its boiling point range. Progress in this direction is, however, barred as increase in boiling point means decrease in antiknock value, and the demand is more and more clamorous for gasoline of high antiknock value. The yield of gasoline of the requisite volatility or boiling point range and antiknock value can, however, be met by cracking heavier fuels. Although cracking of residual fuels can be and is being effected, the process is more easily applied to the distillate fuels, which will thus be in ever-increasing demand for this purpose. The yield of kerosine is small, the more so as those crude oils now most abundant which yield gasoline of good antiknock value, give kerosine of poor illuminating value. In any event the demand for kerosine is on the wane, so that much of this product which under other conditions would be made, finds its way into distillate fuels or gas oils.

The yield of distillate fuel which is a product intermediate between gasoline on the one hand and residual fuel on the other is thus limited

The limit to the production of gasoline would thus be reached when the whole of the distillate and residual fuels were used as cracking base products. The supply of distillate fuels available is thus being eaten into by the demand for motor spirit and for domestic fuels It is being augmented by the manufacture of asphalt residual fuels. The maximum yield of distillate fuel would be attained only when none of it was used for cracking, and when all residual fuel was distilled down to asphalt The petroleum industry is flexible but there are limits to this flexibility.

The maximum yield of straight-run motor spirit, say 25% of the crude has been reached. The maximum yield by full use of the cracking process might be raised to say 65%. The maximum yield of distillate fuels if none were used for cracking and all crude distilled as far as possible might be also as high as 65%. Neither of these conditions is obviously likely to be realised. There is, however, a development, at present in its infancy, which may later on give the petroleum industry a much greater flexibility and which may possibly render available supplies

of oil from coal. Attempts are being made to manufacture commercially light oils from heavy oils by means of hydrogenation. Information as to progress in this direction is however not yet generally available. Given cheap supplies of hydrogen such as may well be obtained by the cracking of natural gas, the supply of gasoline might well, by this process, be considerably augmented. For basic material for such hydrogenation the distillate fuel oils would certainly be in great demand.

What do these considerations indicate? What are the directions in which development may be expected? There seems no reason for expecting any retardation in the expansion of the spark-ignition engine. However far the Diesel engine develops it may be confidently expected that the gasoline engine will hold its own even with a more expensive fuel. That the Diesel engine is rapidly approaching a state of development which will bring about a rapid extension of its uses is beyond dispute. The resulting competition for distillate fuels will certainly result in a rise in price of such fuels in comparison with gasoline. One of the main arguments for the Diesel engine is at present the lower price of the fuel. An increase in the relative price of this fuel must result in a retarding effect on the development of the Diesel engine In the case of marine Diesels an increase in the price of fuels might well in many cases give the advantage to the steam turbine. Some state of equilibrium must eventually be reached, but the point at which this will be set up is beyond the power of the author to predict.

One solution, however, does present itself, or rather one direction for future development is clearly indicated. There is relatively abundance of residual fuel The spark-ignition engine cannot use this, but the engine of the Diesel type can. The only competitors for residual fuel are the steam raisers and heat generators and these have always coal available The day may come when the dream of Dr. *Diesel* will be realised and powdered coal will be the standard Diesel fuel. Meanwhile, the intermediate step seems to be the evolution of a type of engine which will burn successfully the residual petroleum fuels for which the competition can never become fierce as long as there is abundance of coal and which may certainly be expected for long years to come to be the cheapest petroleum product. Many, if not most, Diesel engine makers claim that their engines can use such fuels, but the users of the engines seem to think otherwise. The development of the Diesel engine to substantiate the makers claims as to its capacity for running on residual fuels appears to the author to be the line most clearly indicated.

Zusammenfassung

Der Verfasser gibt in diesem Aufsatz einen kurzen einleitenden Bericht uber die Art und Weise, wie sich die Petroleumindustrie den erhohten und veranderten Anforderungen bis jetzt angepaßt hat Er weist darauf hin, daß die sich immer mehr vergroßernde Verwendung von Petroleumerzeugnissen in verschiedenen Industriezweigen der gesamten Petroleumindustrie großere Stabilitat verleiht. Die Fortschritte der letzten Jahre und die dadurch gegebenen Hinweise auf zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten werden unter Berucksichtigung der Brenn-

kraftmaschine und ihrer Brennstoffe als auch im Hinblick auf diejenigen Petroleumerzeugnisse, die nicht als Brennstoffe verwendet werden, untersucht. Die Möglichkeiten der zukünftigen Gewinnung von Erdöl werden durchgesprochen, und es wird die Ansicht vertreten, daß in dieser Richtung für die nächsten Jahre nichts zu befürchten ist. Aber selbst wenn diese Mengen ausbleiben würden, stunden andere Quellen zur Verfügung, z. B. aus Schiefer. Da das aus der Destillation von Ölschiefer erzeugte Rohöl im großen und ganzen ähnliche Eigenschaften besitzt wie Rohpetroleum, so kommen dieselben Aufgaben in Betracht.

Die Mengenverhältnisse, in welchen die verschiedenen Erzeugnisse aus Rohol hergestellt werden, und die Art und Weise wird erläutert, in welcher die Anforderungen an diese heutzutage fur die Hauptbrennstoffarten, die in Verbrennungskraftmaschinen verwendet werden, erfüllt werden. Die Moglichkeiten der raschen Entwicklung des Motors mit Kompressionszündung und der Einfluß einer solchen Entwicklung auf die Nachfrage nach Kompressionszundungsbrennstoff von Gasolbeschaffenheit werden besprochen.

Es konnte im ersten Augenblick scheinen, als ob die Erzeugung von Brennstoffen für Funkenzündungsmotoren und für Kompressionszundungsmotoren aus demselben Rohmaterial keinerlei Schwierigkeiten bereiten wurde, da der Siedepunkt dieser Brennstoffe so verschieden ist und sie darin nicht übereinandergreifen. Es wird jedoch gezeigt, daß ein derartiges Übereinandergreifen nur bei Brennstoffen, die durch einfache Destillierverfahren hergestellt sind, nicht vorliegt, daß man der stark wachsenden Nachfrage nach Gasolin durch erhohte Erzeugung von Rohöl zum Nutzen eines einzigen Erzeugnisses nicht gerecht werden kann, und daß daher die Industrie des Krackverfahrens weiter entwickelt werden muß. Der zum Kracken auf Gasolin verwendete Grundstoff ist ein Brennstoff von der Art, wie er für die Kompressionszundung verlangt wird, so daß ein Übergreifen wohl stattfindet und die erhöhte Erzeugung einer Brennstoffart auf Kosten der anderen Brennstoffart geht.

Die Folgen davon werden erörtert und die Frage erwogen, inwieweit die Petroleumindustrie dieser Nachfrage gerecht werden kann. Es wird auf die unausbleibliche Wirkung einer vergroßerten Nachfrage nach Gasölen d. h. nach den augenblicklich am meisten verlangten Ölen fur Kompressionszündungsmotoren von zwei Seiten, hingewiesen, und es werden Mittel zur Abhilfe vorgeschlagen. Schwerere Rückstandole, die gegenwärtig in der Hauptsache für Öfen und Kesselfeuerungen verwendet werden, sind reichlich vorhanden. Derartige Brennstoffe, die fur Explosionsmotoren nicht geeignet sind, sind fur Kompressionszündungsmotoren vollkommen genügend und viele Fabrikanten behaupten, daß ihre Motoren mit diesen Brennstoffen erfolgreich arbeiten. Die Aussichten dieser Brennstoffe als Kompressionszündungsbrennstoffe der Zukunft werden vorausgesagt, und es wird befürwortet, daß die Fabrikanten der Konstruktion derartiger Motoren, in welchen ein solcher Brennstoff mit bestem Nutzen verwendet werden kann, mehr Beachtung schenken mogen.

France

Étude expérimentale du craquage des hydrocarbures purs

Comité National Français

G. Hugel

Appareillage

Nous avons utilisé deux groupes d'appareils. le premier réalise le passage des vapeurs d'hydrocarbure à travers un tube chauffé. La durée de contact des vapeurs avec la paroi chaude est donnée par la longueur du tube et la vitesse d'écoulement du carbure; le deuxième groupe comprend des autoclaves dans lesquels la durée de contact du carbure avec les parois est fixée par la durée de l'expérience

Le premier cas se rapproche sensiblement des conditions de craquage industriel.

Le régime auquel sont soumises les vapeurs d'hydrocarbure est très compliqué.

L'hydrocarbure est introduit goutte par goutte dans un tube chauffé électriquement Les gouttes tombant sur la paroi chaude du tube se vaporisent instantanément Les vapeurs sont portées brusquement à une température très élevée. Les molécules, venant au contact de la paroi chaude, se dissocient. Les produits primaires de craquage peuvent au cours de leur passage à travers le tube, jusqu'à leur refroidissement, subir de nouvelles transformations. Les produits de transformation, continuellement évacués, n'exercent guère d'influence sur le craquage de la matière première.

L'expérience dans une enceinte fermée se poursuit dans de toutes autres conditions

La totalité de la substance à traiter étant présente dès le début, tous les produits formés au cours de l'expérience ne pouvant être éliminés, il est évident que l'image du craquage sera complètement modifiée. Il semble bien que dans ces conditions nous ayons à faire avec des équilibres qui dépendent de la température, de la pression et du rapport du volume gazeux au volume liquide, s'il y en a. (Voir *Snelling*, Chem. Ztg 1915, p. 359.)

Nous avons essayé de déterminer les principaux facteurs et leur importance pour le craquage, ainsi que le mécanisme de la dissociation des molécules hydrocarbonées Nous exposons les résultats que nous avons obtenus jusqu'à présent.

Ces résultats sont nécessairement encore incomplets. Dans peu de parties de la chimie organique on est obligé de faire un nombre d'expériences aussi élevé avec une matière première généralement difficilement accessible en quantités importantes, que dans l'étude des hydrocarbures purs.

Parmi les facteurs physiques, notre attention s'est surtout portée sur la température et la pression. L'étude du facteur temps et des catalyseurs a nécessairement dû être remise, jusqu'à ce que les résultats obtenus constituent une base suffisamment précise.

Influence des facteurs température et pression, sur les conditions physiques du craquage des hydrocarbures

On peut prévoir schématiquement trois cas possibles dans le craquage des hydrocarbures: 1. Il n'y a qu'une seule phase, soit gazeuse, soit

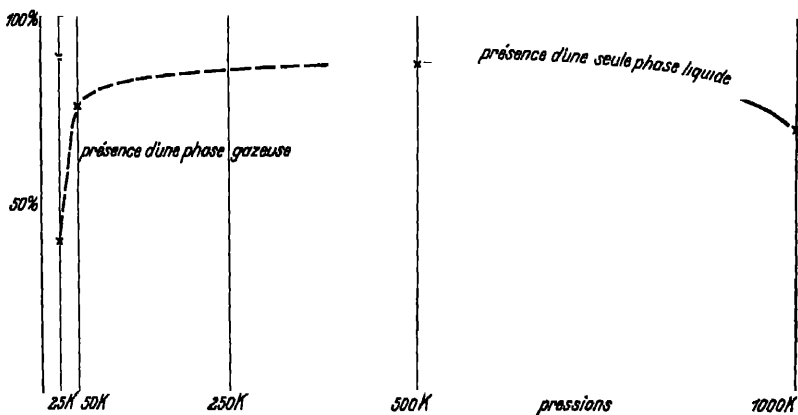



Fig 1 % hexadécène inaltéré à 300° en fonction de la pression (traitement de 5 h)

liquide. Ceci dépend de la température, de la pression et des propriétés physiques des carbures. 2. Il y a deux phases, liquide et gazeuse, ceci dépend du remplissage de l'appareil.

Ainsi la température critique de l'α-octène est aux environs de 288°. Ce n'est que vers 400° que la décomposition de l'α-octène devient appréciable. La décomposition de l'α-octène aura donc lieu en phase gazeuse quelle que soit la pression

La température critique de l'hexadécène est de 433° Elle est bien supérieure à la température de décomposition de l'hexadécène qui est certainement inférieure à 400°.

La décomposition de l'hexadécène pourra donc se faire dans les trois cas prévus.

De ces trois cas, il n'y en a que deux qui soient intéressants 1. Présence d'une seule phase liquide 2. Présence d'une phase gazeuse.

On peut prévoir encore un nouveau cas qui est compliqué par la présence d'une phase gazeuse étrangère. Celle-ci sera naturellement

saturée des vapeurs de carbure, ce qui implique la présence d'une phase vapeur.

Les procédés de craquage industriels étant classés en procédés travaillant en phase vapeur et en procédés opérant en phase liquide, il nous paraît important d'établir l'influence de la présence ou de l'absence de toute phase gazeuse sur le craquage.

Nous avons fait dans ce but deux séries d'expériences.

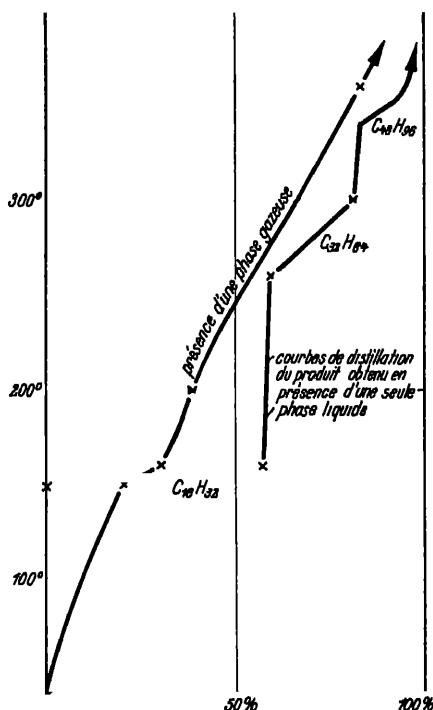



Fig. 2. Courbes de distillation d'hexadécène traité à 400° et 500 kg

Un tube muni d'un manomètre à un bout, à l'autre d'un dispositif de fermeture[1] est rempli incomplètement d'hydrocarbure dans la première série d'expériences. Quand le tube est chauffé, la dilatation du carbure permet d'obtenir de très fortes pressions. Nous restons cependant toujours en présence d'une phase gazeuse (étrangère).

Dans la deuxième série d'expériences, on rempli le tube complètement. On s'arrange à laisser s'écouler pendant qu'on chauffe l'excès de carbure par un robinet, lorsque la pression désirée est atteinte.

On peut ainsi réaliser l'expérience en phase liquide seule.

Fig. 1 montre la quantité d'hexadécène inaltérée à 300° à des pressions de 25 à 1000 kg après 24 h de traitement, d'une part en présence d'une phase gazeuse et d'autre part en phase liquide seule.

[1] Voir *G Hugel* et *Artichevitch*, La décomposition pyrogénée des hydrocarbures sous hautes pressions. Annales de l'Office National des Combustibles Liquides 1928.

On voit que les deux courbes sont très différentes. Celle obtenue en phase liquide indique que la quantité d'hexadécène inaltérée diminue lentement quand la pression augmente. Nous assistons à la polymérisation de l'hexadécène en son dimère $C_{32}H_{64}$ respectivement trimère $C_{48}H_{96}$. Cette réaction est favorisée par la pression.

La courbe de réaction en phase gazeuse montre une augmentation de la quantité d'hexadécène transformée quand la pression tombe au-dessous de 50 kg.

Nous assistons au craquage de l'hexadécène, à sa polymérisation et à la polymérisation des produits de craquage.

La différence entre les deux réactions. en présence et en absence de phase gazeuse se montre d'une façon très nette quand on examine les courbes de distillation des produits sortants.

Fig. 2 renferme les courbes de distillation des produits obtenus à 400° et 500 kg.

La courbe obtenue en travaillant en présence d'une phase gazeuse indique l'obtention d'une série continue de carbures, distillant à partir de 40° (dans le vide de 15 mm) jusqu'au-dessus de 360°. Il n'y a plus qu'un faible palier d'hexadécène inaltéré.

La courbe de la réaction en phase liquide seule est composée de trois paliers, reliés entre eux par des discontinuités.

Ces trois paliers correspondent à $C_{16}H_{32}$, $C_{32}H_{48}$, $C_{48}H_{96}$.

Ces expériences démontrent d'une façon très nette la nécessité de la présence d'une phase gazeuse pour qu'il y ait craquage.

Influence de la température

Les vitesses de réaction augmentent fortement avec la température. La quantité de carbure transformé après passage à travers le tube chauffé, nous permet d'apprécier la vitesse de craquage. Elle augmente proportionnellement plus dans les zones de température élevée. Nous donnons comme exemple (Fig. 3) l'α-octène entre les températures de 300° à 550° et la décaline entre 580 et 650° L'augmentation est toujours très faible aux températures basses de craquage, du carbure étudié.

Nous avons tracé dans le même tableau la courbe de la tétraline. Celle-ci monte bien plus rapidement. Surtout aux hautes températures, la déshydrogénation de la tétraline en naphtaline devient de beaucoup la réaction prépondérante. Elle semble donc obéir à une loi individuelle. Celle-ci dépend de la configuration chimique, parce que la déshydrogénation de la décaline a un coefficient de température très faible.

La vitesse de polymérisation des carbures non saturés en phase liquide augmente également beaucoup avec la température. Pour l'hexadécène on avait p. ex

	400°	300°	
à 500 kg	39,2 %	11,4 %	transformés après 5 h.
à 1000 kg	9 %	1 %	transformés après 0,5 h.

La détermination de la vitesse d'une réaction, en particulier en fonction de la température rencontre cependant de grosses difficultés.

La détermination de la vitesse d'une réaction donnée est subordonnée à la détermination de celles de toutes les autres réactions.

Encore qu'en général l'intervalle de température dans lequel on peut poursuivre une réaction particulière, est relativement étroit. Ce sont d'une part des réactions secondaires, et d'autre part de nouvelles réactions dont le coefficient de température est plus favorisé, qui sont causes de la disparition des autres.

L'intensité de ces réactions secondaires dépend également de la concentration des produits dans les vapeurs de craquage. La détermination de la vitesse d'une réaction est fonction de tant de facteurs qu'il paraît impossible d'y apporter toutes les corrections nécessaires.

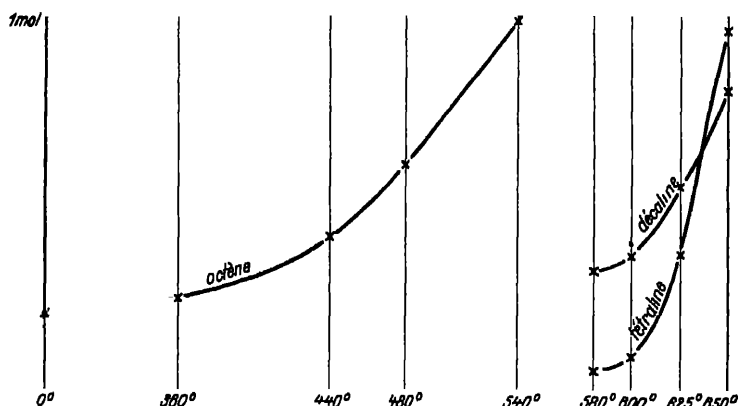



Fig. 3 Mols carbures craqués par une mol de carbure traité en fonction de la température.

Il n'est donc pas autrement étonnant de constater que les courbes montrant la variation de la quantité d'un produit déterminé en fonction de la température, sont tout à fait désordonnées à ce point qu'il ne nous a en général pas été possible de tirer des conclusions précises.

Nous ne pourrons donc indiquer que des considérations d'ordre qualitatif. La proportion de gaz augmente avec la température. Aux basses températures la quantité de gaz recueillie correspond pour les carbures aliphatiques à une rupture en moyenne à n'importe quel endroit de la molécule. Le nombre de ruptures augmente avec la température. La proportion de gaz dépasse rapidement celle que l'on peut calculer pour des ruptures à n'importe quel endroit de la chaîne carbonnée. Il doit se produire une rupture totale de la molécule avec production de petits fragments comme par exemple dans le cas de la tétraline qui en partie se disloque complètement en carbone et méthane; dans le cas de la décaline cette dislocation va jusqu'aux éléments carbone et hydrogène. Cette dislocation totale de la molécule doit se produire surtout vers 600° et aux températures plus élevées encore. Entre 500 et 600° nous avons la zone des températures qui sont les plus favorables à une condensation des fragments de molécules disloquées.

L'hexadécène à 560° donne une forte proportion de molécules en C_6 ce qui est un indice sûr de condensations. La décaline à 580° donne une quantité de gaz trop faible par rapport à la quantité d'aromatiques obtenus. Il faut en conclure qu'une partie importante des fragments qui au-dessus de 600° se scinde surtout en carbone et méthane, se polymérise vraisemblablement en benzène et toluène. La concordance des températures auxquelles on constate une polymérisation dans les deux cas de l'hexadécène et de la décaline, est trop remarquable pour que l'on puisse croire à l'effet d'un simple hasard. Nous croyons pouvoir en conclure que les restes qui se polymérisent doivent être assez ressemblants d'autant plus qu'une polymérisation analogue n'a pu être trouvée dans le cas du craquage de la tétraline.

Au-dessous de 500° les fragments produits doivent être trop volumineux en général pour qu'ils aient une tendance quelque peu prononcée vers une condensation. C'est dans cette zone de température que le craquage des carbures est caractérisé par une rupture de la chaîne carbone indifféremment vers le milieu ou vers le bout de la molécule

Influence de la pression

Nous avons déjà parlé de l'influence de la pression sur les conditions physiques du craquage. Nous essayerons dans ce chapitre de nous rendre compte des effets propres de la pression.

On dit en général que la pression intensifie la réaction de craquage et permet ainsi d'abaisser la température.

Nous supposons qu'il ne s'agit que d'un effet secondaire, l'effet primaire de la pression étant de rendre les vapeurs plus denses et de permettre ainsi une meilleure transmission de la chaleur. On remarque ceci le mieux aux réactions secondaires qui sont plus intenses sous pression.

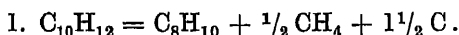
Ainsi dans le craquage de la tétraline la quantité d'orthoxylène et d'éthylbenzène (par mol tétraline craquée) atteint un maximum aux environs de 625°. Sous pression de 30 kg, le maximum est atteint avant 580° On constate qu'en même temps que la quantité d'orthoxylène baisse (c'est surtout l'orthoxylène qui disparaît) celle du benzène augmente. Il y a donc une dégradation de l'orthoxylène en benzène.

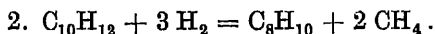
On constate l'intensification des réactions secondaires par la pression d'une façon plus nette encore à l'exemple de la décaline. Nous avons pour la décaline surtout une proportion importante de toluène. La dégradation du toluène en benzène à pression ordinaire est visible à partir de 625°. Cette température est abaissée par la pression au-dessous de 600°

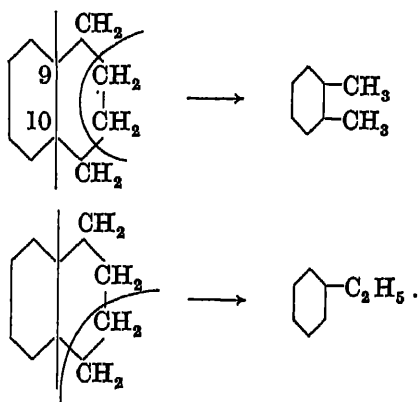
L'action spécifique de la pression réside surtout dans un changement des vitesses des différentes réactions de craquage de la molécule hydrocarbonée Aussi longtemps que l'on ne saura pas analyser qualitativement et quantitativement des liquides résultant du craquage de carbures aliphatiques, il sera difficile de donner des précisions dans ce cas particulier.

A l'exemple de la tétraline et de la décaline quelques observations intéressantes ont pu être faites dans ce sens.

La tétraline se décompose de préférence avec formation de carbures aromatiques en C_8. Sans pression, la proportion de C_8H_{10} peut atteindre 0,66 mol par mol de tétraline craquée[2]; elle dépasse sous pression de 30 kg d'hydrogène 0,75 mol à 580°. La proportion de C_8H_{10} tombant rapidement, on peut supposer qu'à des températures inférieures à 580° on puisse avoir une décomposition presque quantitative de la tétraline en orthoxylène et éthylbenzène. Cette décomposition se fait d'après l'équation:

$$1.\quad C_{10}H_{12} = C_8H_{10} + {}^1/_2\,CH_4 + 1{}^1/_2\,C\,.$$

Sous pression d'hydrogène nous avons l'équation

$$2.\quad C_{10}H_{12} + 3\,H_2 = C_8H_{10} + 2\,CH_4\,.$$

Il est intéressant de constater que les proportions d'orthoxylène et d'éthylbenzène ne sont pas du tout les mêmes dans les deux cas. Il y a sous pression d'hydrogène de 30 kg, une proportion plus faible d'éthylbenzène. Dans les deux cas d'ailleurs la quantité d'éthylbenzène augmente avec la température.

Le schéma suivant montre que le mode de rupture n'est pas le même:

Incontestablement la rupture qui donne naissance à l'orthoxylène est plus symétrique surtout si l'on considère que l'axe autour duquel vibre la molécule est donné par les carbones 9 et 10 qui sont communs aux deux noyaux.

La modification des vitesses des différentes réactions, peut avoir des répercussions considérables pour le résultat du craquage. On constate que dans le cas de la tétraline, la quantité de naphtaline obtenue par mol de tétraline transformée est à peu près la même à pression ordinaire et sous pression de 30 kg d'hydrogène. Sous pression elle est plutôt un peu moindre. Nous en concluons que la vitesse de dés-

[2] Nous faisons ici la distinction entre «tétraline craquée» qui est caractérisée par la rupture du noyau hydrogéné, «tétraline déshydrogénée» en naphtaline, et «tétraline transformée» qui est la somme des deux.

hydrogénation de la tétraline en naphtaline est légèrement diminuée par la pression d'hydrogène. La déshydrogénation de la décaline en naphtaline est lente. La quantité de naphtaline atteint à peine 12% de la décaline craquée à 650° (contre 76% dans le cas de la tétraline). Mais elle est doublée par la pression d'hydrogène.

Nous mettons ces faits en relation avec le dépôt de carbone. A pression ordinaire, le dépôt de carbone est plus faible pour la décaline. Il est plus faible que ce qu'il devrait être, si les schémas de craquage de la tétraline sont pris comme base pour le calcul du craquage de la décaline. Le plus en hydrogène de la décaline intervient donc pour libérer des molécules gazeuses.

Sous pression d'hydrogène, la tétraline ne donne plus de carbone. Il apparaît sous forme de méthane. Des quantités importantes d'hydrogène de l'atmosphère gazeuse sont ainsi fixées.

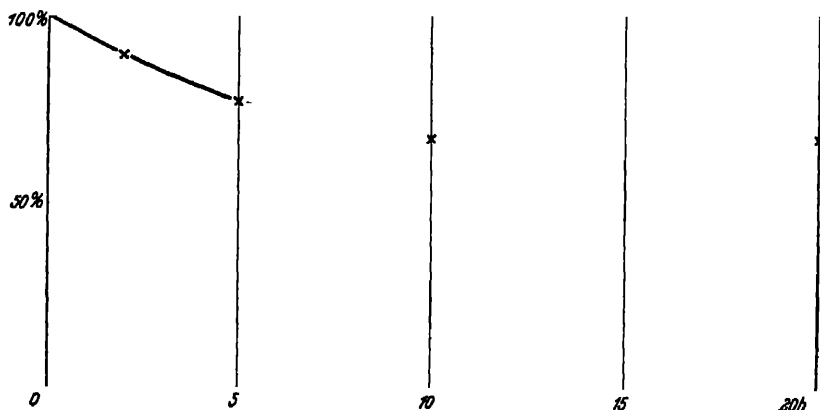



Fig. 4 % hexadécène non transformé en fonction du temps à 300° et 1000 kg de pression, en phase liquide seule.

La pression d'hydrogène augmentant par contre la vitesse de déshydrogénation de la décaline, elle donnera à 650° un dépôt de carbone tel, qu'il faisait éclater les tubes.

Nous avons étudié la polymérisation des carbures non saturés sous l'influence de la pression. La polymérisation de l'hexadécène en phase liquide est une réaction d'équilibre (Fig. 4). Cet équilibre dépend de la pression. Les fortes pressions déplacent l'équilibre dans le sens de la polymérisation.

Il y a sans doute plusieurs équilibres, parce qu'il y a toute une série de polymères qui se forment. Nous avons identifié le dimère et le trimère de l'hexadécène. Leur rapport n'est pas toujours le même; il varie avec les conditions d'expériences. En phase vapeur la polymérisation n'est plus une réaction d'équilibre p. ex pour l'α-octène à 400° et 500 kg Il y a une diminution de pression qui est une droite (Fig. 5) en fonction du temps. Les produits de polymérisation $C_{16}H_{32}$ et $C_{24}H_{48}$ sont liquides dans ces conditions. Il en résulte une diminution de volume très notable.

1. *Isomérisation:* L'isomérisation de l'hydrocarbure initial est un phénomène d'ordre général: l'octène donne des isoctènes à chaînes ramifiées, l'hexadécène des isohexadécènes. Peut-être qu'il y a aussi migration de la double liaison La tétraline donne naissance à des hydrocarbures isomères $C_{10}H_{12}$, qui sont des benzéniques, à chaînes latérales non saturées. La décaline produit également des isomères par ouverture d'un noyau.

Cette isomérisation a lieu dans les conditions les plus variées. à pression ordinaire jusque sous des pressions très élevées, en présence ou absence de catalyseurs physiques.

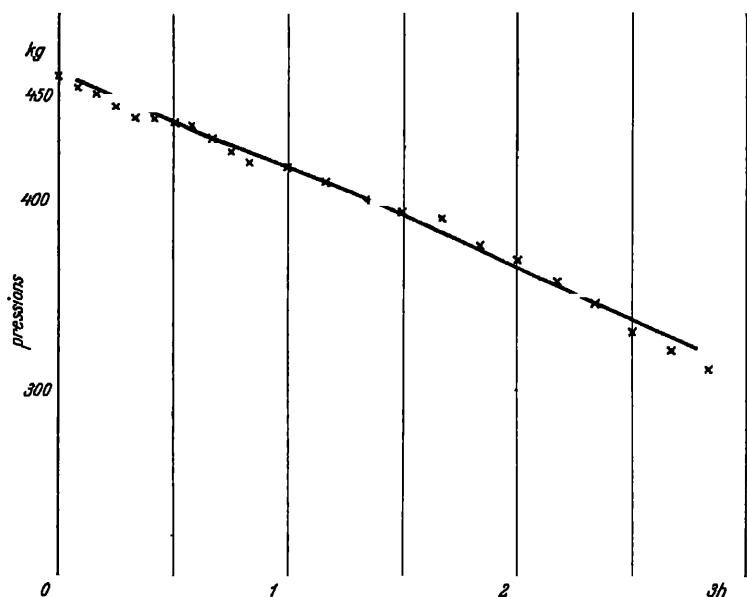



Fig 5 Polymérisation de l'octène à 400° et 500 kg. Diminution de la pression en fonction du temps.

On a l'impression que les liaisons interatomiques dans la molécule sont rompues par l'agitation thermique, sans que les atomes quittent l'enceinte moléculaire.

Lorsque cette agitation cesse, les atomes s'arrangent un peu au hasard et ne reconstituent plus l'état initial. Nous admettons donc une déformation de la molécule, hypothèse qui a déjà été suggérée p ex pour expliquer des phénomènes catalytiques.

2. *Rupture de la chaîne carbonée:* Si l'agitation thermique dépasse une certaine mesure, elle doit conduire à la rupture de la chaîne carbonée. Il faut distinguer les carbures suivant leur constitution en deux groupes: en carbures à chaînes ouvertes et carbures cycliques. Ces deux groupes de carbures se comportent très différemment au craquage.

Les hydrocarbures cycliques se décomposent surtout aux basses températures par rupture de la chaîne carbonée à n'importe quel endroit de la molécule.

On peut établir ceci de la façon suivante: la rupture terminale de la molécule doit produire plus de gaz que la rupture à n'importe quel endroit de la chaîne

En effet, un carbure $C_{16}H_{32}$ doit produire pour chaque rupture dans le premier cas une molécule de gaz. Si donc le craquage donne des molécules C_8, C_9, C_{10}, il a dû y avoir de nombreuses ruptures successives, accompagnées chacune de la formation de gaz.

Si la rupture par contre n'est pas localisée au bout de la chaîne, une seule rupture suffit pour produire les mêmes molécules C_8, C_9, C_{10} et ainsi de suite.

Or, on trouve que l'hexadécène donne aux basses températures (425°) par mol craqué, $^1/_2$ molécule de gaz, c'est-à-dire exactement ce que l'on peut prévoir si la rupture se produit à n'importe quel endroit de la chaîne.

Aux températures plus élevées, le nombre de rupture augmente. Pour deux ruptures en moyenne, on doit trouver 1,57 mols de gaz et 1,43 mols de carbures liquides. Les résultats sont en bon accord avec cette théorie:

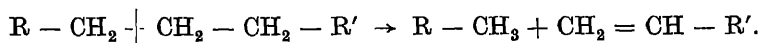
	trouvé (à 500°)	calculé
mols de gaz	1,63	1,57
mols de carbures liquides.. ..	1,35	1,43
	2,98	3,00

Les molécules cycliques sont plus stables à l'intervention de la chaleur et demandent des températures plus élevées. La dislocation de la molécule cyclique est étroitement conditionnée par la structure moléculaire, de façon qu'on ne puisse guère établir de règle générale.

Nous admettons que l'éclatement total de la molécule cyclique p. ex. de la tétraline en carbone et méthane, de la décaline en carbone et hydrogène est une expression de l'état de contrainte dans lequel se trouve la matière. Cette destruction complète de la molécule ne se rencontre guère chez les acycliques; même à ces températures la quantité de coke obtenue est toujours faible à côté de celles que donnent les cycliques.

Quels sont maintenant les produits auxquels donne naissance la scission de la molécule?

On a surtout mis en avant l'équation suivante:

$$R - CH_2 \mid CH_2 - CH_2 - R' \rightarrow R - CH_3 + CH_2 = CH - R'.$$

Elle admet que la rupture produit un carbure saturé et une oléfine. Chaque rupture doit donc être accompagnée de la formation d'une double liaison.

Nous avons essayé de contrôler la formation d'une double liaison par rupture.

Nous avons toujours trouvé que le liquide est trop peu non saturé.

Précisément dans ce but nous avons entrepris l'étude du craquage de la tétraline parce qu'il est possible d'en faire l'analyse quantitative exacte.

Le craquage de la tétraline qui se fait dans le noyau hydrogéné conduit à des aromatiques. Les restes de la molécule sont faciles à poursuivre et l'étude des produits obtenus permet de se faire une image des transformations qu'ils subissent.

Les schémas suivants illustrent les différentes possibilités:

1. CH_2, CH_2, CH_2, CH_2 $\longrightarrow$ + $>CH - CH_2 - CH_2 - CH<$.

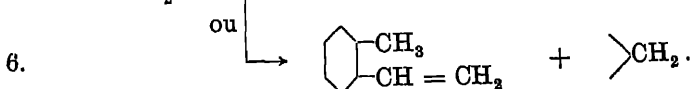
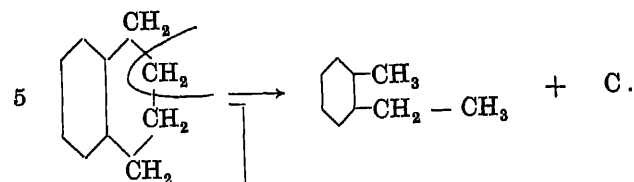
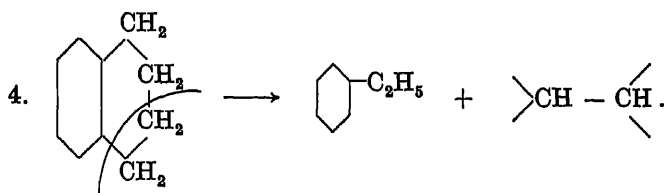
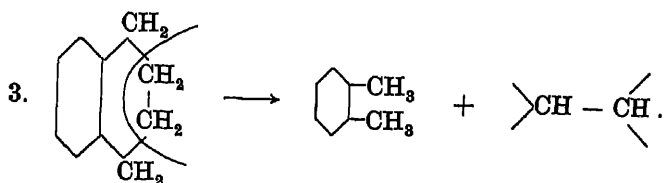
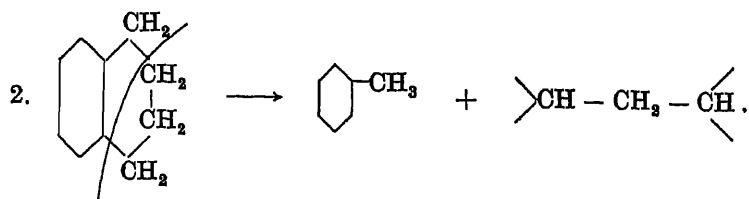
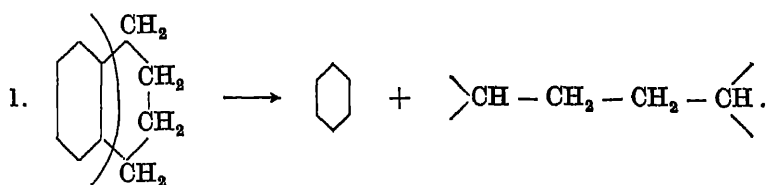
2. CH_2, CH_2, CH_2, CH_2 $\longrightarrow$ $-CH_3$ + $>CH - CH_2 - CH<$.

3. CH_2, CH_2, CH_2, CH_2 $\longrightarrow$ $-CH_3$, $-CH_3$ + $>CH - CH<$.

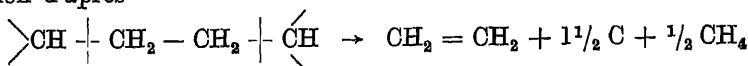
4. CH_2, CH_2, CH_2, CH_2 $\longrightarrow$ $-C_2H_5$ + $>CH - CH<$.

5 CH_2, CH_2, CH_2, CH_2 $\longrightarrow$ $-CH_3$, $-CH_2 - CH_3$ + C .

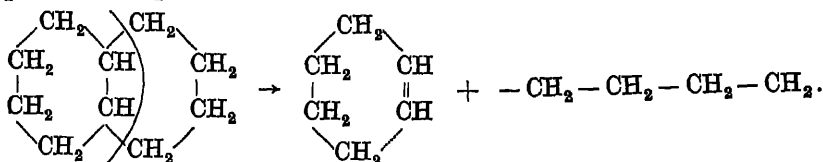
ou

6. $\longrightarrow$ $-CH_3$, $-CH = CH_2$ + $>CH_2$.

On voit qu'il y a formation de toute une série de radicaux non saturés qui pourraient donner des carbures non saturés, qui sont souvent présents dans les gaz de craquage.

Ainsi $>CH - CH_2 - CH_2 - CH<$ pourrait se transformer en butadiène $CH_2 = CH - CH = CH_2$. Nous n'avons pas trouvé de butadiène. Il est par contre vraisemblable que ce reste subit une décomposition d'après

$$>CH -|- CH_2 - CH_2 -|- CH< \rightarrow CH_2 = CH_2 + 1^1/_2\, C + {}^1/_2\, CH_4$$

en éthylène, méthane et carbone. On trouve des quantités moléculaires égales de benzène et d'éthylène.

Le radical $>CH - CH_2 - CH<$ se disproportionne en carbone et méthane. Le radical $>CH - CH<$ est isomère à l'acétylène. On pourrait supposer que les deux valences libres des carbones se saturent mutuellement pour former une triple liaison. Mais il n'y a pas d'acétylène. Ce radical donne du méthane et du carbone. Certaines théories admettent l'existence aux hautes températures de radicaux méthylène $>CH_2$ et que c'est la polymérisation de radicaux semblables qui conduit aux carbures aromatiques Nous avons pu constater dans la limite des températures étudiées, 580 à 650°, que ce radical se transforme en méthane et carbone Le craquage de la décaline conduit à des radicaux plus saturés p. ex. suivant

$$\text{décaline (}CH_2, CH_2, CH, CH, CH_2, CH_2, CH_2, CH_2, CH_2, CH_2\text{)} \rightarrow \text{cycle } (CH_2, CH_2, CH=CH, CH_2, CH_2) + -CH_2-CH_2-CH_2-CH_2.$$

Ces radicaux ne se disproportionnent qu'en petite partie en carbone et méthane. Chose curieuse: plus saturés, ils se polymérisent plus facilement que les radicaux hautement non saturés de la tétraline et forment des hydroaromatiques, et des aromatiques.

L'image du craquage de la décaline est cependant déjà trop compliquée pour qu'il soit possible de poursuivre jusque dans les moindres détails chaque réaction.

Ce petit aperçu suffit déjà pour donner une idée de la complexité et de la diversité des réactions de craquage.

3. *Déshydrogénation:* La déshydrogénation des carbures acycliques est insignifiante aux basses températures. Elle semble être toutefois plus importante quand il y a au moins une double liaison dans la molécule. La quantité d'hydrogène recueillie pendant le craquage d'une oléfine est en effet plus importante que celle donnée par une paraffine. La double liaison active donc les atomes d'hydrogène, comme elle active également la rupture de la chaîne carbonée.

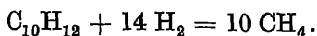
Ce sont ensuite surtout les hydroaromatiques saturés et non saturés qui perdent facilement de l'hydrogène. Les non saturés plus aisément que si la molécule est complètement saturée Exemple· la déshydrogénation importante de la tétraline en opposition avec celle très faible de la décaline. Le mécanisme de la déshydrogénation en présence ou en absence de la double liaison ne doit pas être le même. La preuve est donnée par la manière différente des deux carbures de se comporter sous l'influence de la pression d'hydrogène La déshydrogénation de la tétraline est plutôt moins active, alors que celle de la décaline est accélérée.

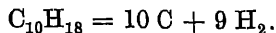
La déshydrogénation d'une molécule hydroaromatique peut ne pas être totale d'un seul coup. On constate la présence de produits imparfaitement hydrogénés. Ainsi le craquage de la décaline permet de constater la formation de tétraline, de cyclohexène et de cyclohexadiène à côté de naphtaline et de benzène.

4. *L'hydrogénation:* Il peut y avoir hydrogénation intermoléculaire Lors du craquage de la décaline à 580°, la quantité de carbone déposé étant très faible, il faut en conclure qu'il y a eu une hydrogénation intermoléculaire. L'hydrogène du noyau hydroaromatique qui est resté intacte a dû servir à l'hydrogénation des restes non saturés formés par la rupture du deuxième noyau En même temps il a dû y avoir déshydrogénation partielle ou totale du noyau non craqué.

Sous pression d'hydrogène on peut constater une absorption d'hydrogène aussi en absence de catalyseurs. La tétraline se disloque en partie en méthane; la quantité d'hydrogène nécessaire est fournie par l'atmosphère d'hydrogène.

Ainsi à 650° 969 g de tétraline donnent à pression ordinaire 70 g de coke. Sous pression d'hydrogène à 30 kg toute chose étant égale, il n'y en a pas trace; cependant que 94 g de tétraline ont été disloqués en méthane, ce qui a demandé une absorption de 224 l d'hydrogène. Il n'y a certainement pas eu hydrogénation du coke déjà formé. Sans cela on n'en trouverait pas non plus dans le craquage de la décaline. Nous avons donc eu la réaction:

$$C_{10}H_{12} + 14\,H_2 = 10\,CH_4.$$

Pourquoi n'avons-nous pas une réaction analogue avec la décaline? La réaction principale à 650° est au contraire la suivante:

$$C_{10}H_{18} = 10\,C + 9\,H_2.$$

Cette réaction est tellement intense sous pression d'hydrogène, que le coke formé faisait régulièrement éclater les tubes.

Nous supposons que l'hydrogénation de la tétraline sous pression est encore due à la non-saturation de la molécule La non-saturation provoquerait ou faciliterait une addition de molécules d'hydrogène, ce qui dans le cas de la décaline n'est pas possible.

5. *Polymérisation* · La polymérisation des carbures est également un effet de la double liaison. La polymérisation des oléfines est insignifiante à pression ordinaire et sous pression peu élevée Elle devient l'unique réaction sous pression élevée, surtout en phase liquide.

Des oléfines comme l'α-octène et l'hexadécène se polymérisent en donnant des dimères et des trimères. Peut-être que la polymérisation va encore plus loin; mais alors ces produits fortement polymérisés ne sont obtenus qu'en quantités insignifiantes. Il y a déjà une forte prépondérance du dimère.

La polymérisation a été étudiée surtout avec l'hexadécène.

Les polymères obtenus sont les mêmes dans les différentes conditions d'obtention. Ce sont des produits solides à l'aspect de paraffine. Le dimère semble se former à partir de 2 molécules d'hexadécène par disparition d'une double liaison, le trimère résulte de l'union de 3 molécules d'hexadécène avec disparition de 2 doubles liaisons. La structure moléculaire de ces composés n'a pas encore été établie.

	Indice d'iode	Poids moléculaire trouvé
$C_{16}H_{32}$	103	224
$C_{32}H_{64}$	53 à 55	458
$C_{48}H_{96}$	30 à 33	667

6. *La condensation*· Il y a vraisemblablement lieu de distinguer entre la polymérisation et la condensation. Celle-là est une réaction de molécules non-saturées déjà formées. Celle-ci est obtenue dans d'autres conditions et obéit à d'autres lois. Nous en concluons que les substances qui donnent des condensations sont différentes de celles qui subissent la polymérisation.

Le résultat est aussi différent. La condensation donne naissance à des molécules particulièrement favorisées p. ex à des molécules en C_6.

Un exemple est donné par le craquage de l'hexadécène à 550°. Pour 1 mol de carbure craqué on trouve dans le liquide de craquage:

Concentration en mols	à 500°	Concentration en mols	à 550°
C_{15}, C_{14}, C_{13}	= 0,16	C_{15}, C_{14}, C_{13}, C_{12}, C_{11}, C_{10}, C_9	= 0,06
C_{12}, C_{11}, C_{10}, C_9	= 0,07		
C_8, C_7, C_6	= 0,13	C_8	= 0,11
		C_7	= 0,14
		C_6	= 0,21
C_5	= 0,17	C_5	= 0,08

On voit qu'à 500° la répartition des différentes grandeurs moléculaires est très voisine; alors qu'à 550° on a une prépondérance remarquable de molécules C_6.

Nous inclinons vers l'hypothèse que la condensation est provoquée par des restes à faible poids moléculaire ayant des valences libres.

Zusammenfassung

Es wurden zwei Arten verschiedener Apparate verwendet: elektrisch geheizte Röhren, in denen die Kohlenwasserstoffdämpfe nur kurze Zeit mit den geheizten Wanden in Beruhrung kommen, und Autoklaven, in denen die Reaktionsdauer der Dauer des Versuches gleich ist.

Es wurde versucht: 1. den Einfluß der hauptsächlichsten Faktoren auf das Kracken zu bestimmen und 2 den Mechanismus der thermischen Dissoziation der Kohlenwasserstoffe zu untersuchen

Wegen der großen Anzahl der auszuführenden Versuche sind die Resultate notgedrungen noch unvollstandig

Einfluß der Temperatur und des Druckes auf die physikalischen Bedingungen des Krackens von Kohlenwasserstoffen

Je nach der Temperatur, dem Drucke und den physikalischen Eigenschaften des Kohlenwasserstoffes befindet man sich in der Dampfphase, in der flussigen Phase oder in einem Gemisch der beiden.

In der flussigen Phase allein scheint kein Kracken stattzufinden. Bei ungesättigten, azyklischen Kohlenwasserstoffen, wie z. B. Hexadecen, wurde bei Temperaturen von 300 bis 400° unter hohen Drucken (bis zu 1000 kg) als alleinige Reaktion die Polymerisation zu $C_{32}H_{64}$ resp. $C_{48}H_{96}$ festgestellt. Diese Polymerisation nimmt mit steigendem Druck und Temperatur zu. In Gegenwart einer Dampfphase, z. B durch Gegenwart einer CO_2-Atmosphäre, findet außerdem ein Kracken statt.

Kohlenwasserstoffe, wie α-Octen oberhalb der kritischen Temperatur, geben neben der Polymerisation zu $C_{16}H_{32}$ resp. $C_{24}H_{48}$ auch Anlaß zum Kracken, selbst unter hohen Drucken.

Einfluß der Temperatur

Der Einfluß der Temperatur auf das Kracken zeigt sich hauptsächlich in einer Beschleunigung der Reaktionsgeschwindigkeiten. Verschiedene Krackreaktionen erleiden verschiedene Beschleunigungen. Auch die sekundaren Reaktionen, denen die primären Krackprodukte unterstehen, nehmen mit steigender Temperatur zu. Diese hängen nicht nur von der Stabilitat der primären Krackprodukte ab, sondern auch von ihrer Konzentration, so daß die Funktion, nach der ein bestimmtes Krackprodukt von der Temperatur abhängt, sehr kompliziert ist und keine einfache Deutung zulaßt.

Im allgemeinen dissoziiert das Molekul eines azyklischen Kohlenwasserstoffes bei niederer Temperatur an irgendwelcher Stelle der Kohlenstoffkette im Durchschnitt einmal Bei erhöhter Temperatur steigt die Anzahl der Bruchstellen zumeist auf zwei im Mittel. Von 500° ab merkt man dann die Neigung zur Kondensation unter Bildung von Molekulen bestimmter Große, wie z. B. C_6.

Bei den zyklischen, speziell den hydroaromatischen Kohlenwasserstoffen, besteht neben dem Öffnen des Ringes die Neigung zur Aufspaltung in kleine und kleinste Bestandteile

Einfluß des Druckes

Unter Einfluß des Druckes findet ein ergiebigeres Aufspalten der Molekule statt. Wahrscheinlich wird dieses bewirkt durch eine bessere Wärmeubertragung. Spezifisch fur den Einfluß des Druckes ist dann der Befund, daß die Molekule symmetrischer gespalten werden. Der Druck hat auch Einfluß auf die Reaktionsgeschwindigkeiten, die ganz verschieden gesteigert oder vermindert werden konnen, so daß sich das Bild des Krackresultates vollig verschieben kann.

Die verschiedenen Krackreaktionen

Unter dem Einfluß der Wärme wird wahrscheinlich zuerst der Zusammenhalt der Atome innerhalb des Molekülverbandes gelockert. Man erhält unter den verschiedensten Bedingungen eine ziemlich betrachtliche Anzahl von Isomeren des untersuchten Kohlenwasserstoffes.

Als weitere Folgen werden dann Bruchstücke aus dem Molekül herausgeschleudert, so daß ein Zerreißen der Kohlenstoffkette eintritt. Es entstehen voraussichtlich zunächst ungesättigte Kohlenstoffradikale, die sich dann anderweitig umlagern. In einzelnen Fällen konnten diese Umlagerungen verfolgt werden.

Diese ungesättigten Radikale sind auch befähigt, molekularen Wasserstoff zu addieren. Die hydroaromatischen Kohlenwasserstoffe zeigen große Neigung zur Dehydrierung, wobei interessante Fälle beobachtet wurden

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe erleiden Polymerisation, die streng zu scheiden ist von der Kondensation ungesattigter Radikale, die zu ganz anderen Produkten fuhrt

Italy

Distillation of Calcareous Bituminous Rocks for the Production of Mineral Oil

Comitato Nazionale Italiano

Ing. Andrea La Porta

Almost the whole of the mineral oil of the world, the "crude oil" from which gasoline, lamp oil, lubricating oil, fuel oil are extracted, comes from bore holes in oil fields of various sizes and capacities.

Considerable quantities of oil, the importance of which cannot be neglected, particularly in those countries where petroleum is scarce, can be obtained by subjecting to heat treatment or distillation certain well defined rocks of the earth-crust, containing various percentages of organic substances

Amongst these rocks we may mention bituminous shales, such as are found in big outcrops in Esthonia, in Scotland, in France, in Colorado, in California and so on, and from some of which a real oil industry has been developed with widely divergent economical results, whilst some have been made the subject of serious investigation as they are considered as important future oil reserves.

The economical result of this exploitation depends generally almost completely on the mining element, i.e the cost of winning the shale, since on the other hand the development of a still, better adapted to the particular kind of shale to be treated cannot be considered difficult, except for general application, since we do not think there exists amongst the many stills, however ingeniously designed, a single instance in which one and the same still could be considered as well adapted to any existing mining conditions as to any kind of shale.

There exist in the world, furthermore, important deposits of rock variously impregnated with hydrocarbons which up to now have been improperly confused with shales, only because, like these, they appear on the earth's crust, and which have been as yet neglected in so far as the production of mineral oil is concerned, because, compared with shales, they can be rightly considered "poor quality rock".

We refer to the Asphaltic Rocks, of which the largest deposits existing in the world, occur in Utah, Texas, Kentucky, Alabama, Oklahoma, Switzerland (Val de Travers), France (Seyssel), Spain (Maestun near Vittoria), Germany (Hannover), Syria (Lattaquie), Italy (Sicily and Abruzzi) etc In some of them, the rock impregnated is *sandstone*, in others, particularly in Europe, it is *limestone*

Limestone asphaltic rocks have been used up to the present in Europe for street paving; nowadays their employment is restricted, principally owing to costs, freight and carriages rates, in favour of bituminous compounds, generally prepared in situ.

Amongst asphaltic rocks, a particular instance in which we were interested and of special importance for Italy, are numbered the calcareous bituminous rocks of Sicily (Ragusa district) a massive block the largest part of which is visible and concentrated in a radius of almost thirty kilometers.

The differences are very precise and well defined, between bituminous calcareous rocks (asphaltes) and bituminous shales, both as regards the formation, the geological genesis, the character and the utilisation of the products obtained, as well as from the economical-industrial point of view.

Bituminous shales are a mineral which contains organic substances appreciably insoluble in ordinary solvents of petroleum, and it is only by means of "pyrogenation" of an organic substance that it is possible to obtain a mineral oil which did not preexist as such in the original shales.

It is therefore improper to call "distillation" what is on the contrary essentially a "pyrogenation" of the special organic substances contained in the shales

Asphaltic calcareous rocks are true rocks impregnated with residues of evaporated petroleum; the organic substance is soluble in organic solvents; the oil being obtained directly by means of distillation which dissociates the organic substances, without any pyrogenation.

Shale oils are generally formed, more or less, by oxygenated products, azotic products and sulphurated products, mixed with easily resinifiable hydrocarbons; after separation of the ammoniacal water, the crude oils require, in order that marketable products may be obtained, considerable treatment and suffer a high loss during refining; in the Scotch shales this loss amounts to about 22% whilst the average loss in petroleum refining is about 3,5%; the oil obtained from the distillation of asphaltic calcareous rocks has, in its crude state, a much higher marketable value and is a true compound of hydrocarbons containing a very high percentage of essentially lubricating products.

If we examine the formation of the shales, their genesis and their geological structure, it is evident that a close relationship exists between them and coal through intermediary substances such as cannel coals, rather than between them and petroleum; instances of coal beds in which layers of bituminous shales are found forming the top of coal seams are not infrequent. where coal exists, there exists no petroleum.

There is nothing similar to be found in the layers of asphaltic calcareous rocks, for which the most plausible explanation is impregnation due to subterranean pools on which, particularly in the Ragusa district, the

tectonic phenomena of upper tertiary, (volcanism), may have exercised a dispersive or concentrating, oxidizing or vaporizing action which has resulted in the formation of bitumen properly so called and of asphalts.

The phenomenon of the impregnation of the calcareous rocks in the Ragusa district is essentially bound up with the tectonic conditions and with the structure of the rocks and not with their position in the chronological series.

It is almost a general rule that where bitumen is found petroleum has existed and perhaps is still to be found in the vicinity, and the relationship with petroleum is in this case quite obvious.

From the economical point of view the confusion is no longer admissible: shales are found generally in the form of layers of a moderate thickness, interspersed with heavy banks of sterile mineral.

Winning on a large scale requests very deep mining areas, gallery workings, and sorting of the mineral after extraction: not even in the case of Colorado shales, which yield a big output, are instances known where a mineral is sent to the stills without any preliminary sorting, although the reduced output might be compensated for by the lower cost of the unsorted material.

These conditions form, in the present state of the development of pyrogenation technology, the principal hindrance to the further progress of the world industry of bituminous shales, as well as the principal cause of the suspension the Scotch industry, where after the war the cost of winning shales was about equal to that of British coal; we may also mention the losses experienced by the French industry, where the extraction costs per ton of shale increased in 1923 to Fr 21.40 = 3 s. $5^1/_2$ d. (1 £ = 124 Fr).

A recent enquiry on possible developments in the U.S.A. as regards shale oils has resulted in establishing the following restrictions for tertiary shales:

1. No shale of a thickness less than 1 ft. (0.305 m) can be considered as utilisable.

2. No shale yielding less than 15 gallons (about 68 l) oil per ton of mineral can be considered as utilisable.

3. No consideration can be given to the exploitation of a district which is unlikely to yield at least 3000 barrels shale oil per acre of land (abt. 120 l oil per square meter)

For the shales of Devonian systems, inferior to the carboniferous rocks and, surface shales, in localities near to markets, condition 2. is reduced to 10 gallons, and the condition 3. to 2000 barrels, but in this case only shales are considered which can be won by quarrying or by big motor driven extractors, without sorting, and in such instances the cost of extraction is *estimated* at 40 c per ton, a minimum which is still considered insufficient for exploitation on a large scale.

However high the yield in oil and ammoniacal products may be, it is absurd to expect good economical results when the ton of mineral reaches only the above figures, and it is regrettable how many delusions are due to analytical results obtained in laboratory analysis of

samples of shales taken by incompetent persons, without any preliminary accurate examination of the stratifications, of mining conditions, of the position of the locality with reference to the nearest populated centres, railways and sea ports, and of the possibility of economical mining

To these considerations must be added furthermore the consideration, which from the economical point of view is of the highest importance, that the pyrogenation of the shales requires expenditure on outside fuel which is more or loss important according to the kind of still employed, the kind of shale treated and the method of pyrogenation adopted; in the Scotch stills the fuel amounted to about 12% of the weight of the shales treated, and 15 to 18 l water, in steam form, are required for every 4 5 l obtained Nor is it easy to establish summarily with regard to heat saving, the extent to which nitrogen may be conveniently sacrificed for the production of oil, because the treatment of ammoniacal water has formed up to this date a not inconsiderable source of revenue, to which the shale industry is greatly indebted for its existence.

From 100 l crude oil the Scotch industry obtained about 18 kg (39 lbs 11 oz.) ammonia sulphate, which represented over 30% of the total income.

In the industrial treatment of oils obtained from bituminous shales the losses must be furthermore considered which are due to the existence of sulphurated products, and of non-saturated products, besides the losses due to nitrogen products which are more easily recovered.

The bituminous calcareous rocks of the Ragusa district are near to highly populated centres, to railway stations and to sea ports: generally speaking, they are present in the form of big stratifications on the surface; they form an imposing mass, much of which can be seen as well as measured; their extraction is easy, they do not require gallery workings; their distillation does not require any outside fuel, a carbon fraction resulting from the converting process of bitumen in the depolymerized products (mineral oils and fixed carbon) is utilized for this purpose which otherwise would have been left unused in the raw substance treated with any other distillation process; there is no troublesome nitrogen; the sulphur is kept within limits which do not cause any trouble; the non-saturated products do not cause any trouble in the subsequent conversion into lubricating products, and still less when it is necessary to carry out cracking on crude oils obtained from the direct distillation of the rocks: the losses with the usual refining methods are insignificant, because the bitumen resulting from the acid attack has a ready and continually increasing market for coating application to street pavements and is utilized at prices which are very remunerative.

In many cases the mineral is subjected to distillation unsorted, or in other instances the sorting is easy and the cost therof is small, so that an oil output reaching lower figures than the percentage actually given for shales is still remunerative, also because, we repeat, it is

not influenced by any cost of outside fuel and by the necessity of recovering by-products which are not economically utilizable.

The economical possibility of the treatment of the calcareous bituminous rocks is firmly founded on the following conditions, all of which can be fulfilled in Italy, and particularly in the Ragusa district.

The quantitative importance of the deposits, their occurrence in the open at the earth's surface, the facility of quarrying and handling the rock in big masses, the high speed at which the rock is passed through the kiln, the exclusion of every kind of outside fuel, the exclusion as far as possible of the work of sorting the rock as it comes from the mine (quarry), the possibility of free spaces for the removal of the rock, and a considerable discharge area for the waste rock are all necessary conditions

The fulfilment of these conditions which are obviously chiefly of a mining nature, permits the utilization of a rock in itself comparatively poor, renders sure and remunerative that which is not possible even with richer rocks should their extraction be difficult and expensive, or if continual sorting is necessary, or if their nature and their composition requires the use of outside fuel, possible only in the case of very rich rocks.

It is not the rock which requires adaption to the still but rather the still or kiln that must be adapted to the particular requirements of the rock, and its occurrence, structure and composition.

Therein lies the secret of the Ragusa kilns, working since 1918, therein lies the explanation of numerical results from which it may be inferred *that an oil yielding less than 4% of the weight of the rock as it comes from the quarry, still assures and renders remunerative industrial exploitation.*

Results can be obtained which may appear surprising at first sight, but which become most natural when the statements above made are considered, results which isolate and make this industry completely different from every other to which reference could be made.

We would add, although it be obvious, that it is impossible to revive this industry, just as, generally speaking, the same thing is impossible also for the petroleum industry, unless considerable quantities of crude oil can be obtained. The industry begins to be self-supporting only when five figures are reached for the yearly oil production; any belief to the contrary must result in disaster even if the individual oil yields are the highest possible.

The mining conditions must permit, within a sufficient area of a yearly production of at least 50000 t (the ton is always assumed as equal to 1000 kg) oil, whether yielded by separate mining yards or big separate batteries of kilns; each mining yard, with the respective battery, acting independently, must be capable of yielding at least 25000 t oil yearly.

Supposing the big deposit of Ragusa subdivided into so many "mining yard-battery" units, standardized as regards operation, machines and apparatus, plants, each unit producing 25000 tons oil annually, a considerable contribution to Italian requirements can be obtained from the deposits.

The choice of what for brevity's sake we will call "25000 yearly Tons units" is not made, obviously, haphazard, on the other hand it is not meant as a rigid standard, it has been made only considering the areas and volumes available, and in order to remain within limits, figures, and conditions which are normal for working big open quarries.

Also granting that the plant must always work with a minimum yield of 2 5%, 1000000 t rock per mining yard are needed. Considering the nature and the structure of the Italian deposits, there can be no doubt that, as the yield forms so small a percentage, grading is out of the question and the rock must be supplied to the kilns as it comes from the quarry.

For 300 working days per annum 3333 t unsorted rock must be quarried and removed every day.

The specific gravity of the Ragusa Rock being 2,2—3333 t correspond to 1520 cubic metres; the worst aspect of the mining problem consists in the daily quarrying of a volume corresponding to a cube having sides 11,50 m (37 f. $8^1/_4$ inch.) long—and in view of the perfection reached in modern mechanical contrivances and modern explosives—the work entailed in a 8—10 working hour day by no means constitutes a difficult problem.

What is the estimated quantity of rock available? Is there rock in sufficient quantity to insure a long life to the enterprise, even if the oil yield should remain low?

Let us again consider the lowest yield of 2.5% oil, and the million tons of unsorted rock necessary in order to obtain yearly 25000 tons oil in each mechanically equipped mining yard.

In order to maintain production for thirty years, the mine must have at present at least 30000000 t available

There exists an official report on the Ragusa rock asphalt deposits printed in the "Nuovi Annali dell'Agricoltura" (New Annals of Agriculture)—published by the Ministry for National Economy (VII year i. e. 1928): it contains the results of the investigations and findings made by the Committee specially appointed by the Italian Government.

The following conclusions are drawn from the above said document:

The discovery of three slopes, from South to North · Scicli, Ragusa, Vizzini—Licodia, and assuming (see page 353 and 358 of the above "Annals") that we may reckon on a "*reduced average thickness*" and a *thickness of utilisable rock in each deposit, capable of supplying an unsorted rock having an average content of 6% bitumen (4% oil yield) the conclusion is that* the volume of asphaltic calcareous rocks which can be utilised for purposes principally of distillation as has up to the present been the case with the deposits existing in the Ragusa district (Ragusa, Streppenosa—Castelluccio near Scicli, Vizzini and Licodia) may be estimated as totalling approximately 230 millions cubic metres. Considering that the average specific gravity of asphaltic calcareous rock in the Ragusa district is about 2.2, "*this volume corresponds therefore to half a milliard tons material, visible and measurable*".

If, instead of adopting the method followed by the Committee, of converting the capacity to a "reduced average thickness" referred to rock having a 4% oil yield—we refer to a rock yielding only 2,5% oil, the *existing and visible* quantities ought to be increased 100% and perhaps more.

Assuming that we divide the whole deposit into 8 of our "Mining yard-Battery" units for 25000 t oil each,—each with a 2,5% oil yield (total yearly output 200000 t oil) we would have for 30 years a consumption of 240000000 t that is less than 50% of the total quantity conservatively estimated by the Committee—so that, there is a surplus available such that the same output could be guaranteed for an equal length of time.

Lastly, does the possibility exist of discharging large quantities of refuse easily from the kilns over a long period of years?

Obviously, the question is whether there are different levels and sufficiently large frontages. At Ragusa we are in the open—the slopes to be exploited are on three terraces having levels from 400 to 600 m (1315 to 2000 feet), mostly towering over deep valleys (Rivers: Erminio, Dirillo, Grande). The kilns must be suitably located on the best adapted levels, for charging and discharging them, and this can be easily accomplished, in view of the formation of the deposits.

If we consider, for instance, the case of Ragusa, for a battery located even in the less favourable conditions, at the border of one mining location,—see Fig. 2—discharging at the level 403 m (1325 feet) in order to reach the bottom of the Erminio valley we have a free drop of 183 m (600 feet) available for the discharges. The natural discharge cone (on an elevated terrace which will be gradually formed by the discharge from the kilns in a North East direction, always at the level 403 m and not over 395 m (1300 f.) elevation from the valley fronting the battery) contains sufficient room for about 14000000 cu. m. material, that is a volume sufficient for abt. 24 years working.

Subsequently by the gradual formation of terraces in the opposite direction there will be still more room for discharging waste material.

A similar solution can be used for a second battery at Ragusa—considering the width of the line of the mineralized frontage available on the same level (403 m) and progressing for abt. 3 km (10000 f.) always at the border of the deposit ascertained.

The forms of the Scicli and Vizzini-Licodia deposits are similar and, in some detail even better, as is evident from an examination of the topographical maps of these localities, and therefore, we can conclude that the mining aspect of the industrial problem, also considering the whole question within very well considered limits (minimal yieldings-maximal quantities) remains always within figures and conditions which do not present anything abnormal in the usual working of a big quarry, in the open.

A part of the waste material discharged by the kilns can be utilised for the manufacture of synthetic Portland cements, recovering

in this way the heat already used for the partial dissociation of the original carbonate of calcium and the calories still contained in the material discharged by the kilns Of course, the admixture of argillaceous earths in suitable proportions is necessary; these are however plentiful in the neighbourhood.

This possibility has not been considered in estimating the cost of crude oil obtained from the distillation of the rock.

Now that we have solved the problem from the mining point of view, it is necessary to solve it from the point of view of distillation, keeping always in mind the fact that, since the rock is essentially poor, and sorting is out of the question, it is necessary to exclude beforehand the use of outside fuels, or complicated steam admission processes, and that the necessary calories must be obtained, for distillation, from a part of the carbon contained in the rock.

It is now abt. 12 years since a battery of kilns in which the conditions referred to above were fulfilled, has been in operation at Ragusa, and Fig 1, 3 and 4 show the simplicity of its lay-out.

One ton rock of the Ragusa district contains sometimes up to 200 kg (552 pounds) combustible, organic substances; extracting the rock indiscriminately, and without sorting, we can reckon on a general average of 60 to 65 kg (132 to 145 pounds) available combustible, organic substances, per ton, whose calorific value is superior to that of the best coal; but, principally in order to give a proof of how safe the industry is, let us assume that for unsorted rock no higher contents than 40 kg (88 pounds) organic matter can be averaged per ton rock such as it comes, unsorted, from the quarry.

When 4% impregnated asphalt rock is heated, upon attaining the temperature of 450° C (842° F) the rock has lost abt. two thirds of the hydrocarbons contained in it, thus recovering the mineral oil, which can be removed from the rock in vapour form, and which can be separately condensed.

The stream gases dilute the oil vapours, lower their partial pressure, and facilitate their separation.

With 4% rock we will have therefore 25 kg (55 pounds $^1/_5$) mineral oil for each ton of 1000 kg asphalt rock supplied to the kilns.

The necessary heat must be produced therefore from the combustion of 15 kg (33 pounds) organic substance.

The average composition of the bitumen contained in the rock is:

C	84.9%
H	11.7%
S	3.4%.

15 kg bitumen contain therefore.

C	12 74 kg	(28 pounds)
H	1.76 ,,	(4 pounds)
S	0 51 ,,	($1^1/_6$ pounds).

The residues of the mineral at the kiln exhaust contain still a small percentage of carbon, which in the poorer rocks is not more than 0 20%: in this case, therefore, there are 2.6 kg, abt. 6 pounds carbon which do not participate in the combustion.

In continual, normal combustion, every ton rock asphalt containing 4% bitumen will produce:

Combustion of the carbon.
(12.74 – 2 6) × 8080 .... = 81931 cal (325123 B.T.U.)

Combustion of H·
(1 76) × 29500 .... = 51920 „ (206032 B.T.U.)

Combustion of S:
(0 51) × 2400 .... = 1224 „ (4857 B.T.U.).

Total 135075 cal (536012 B.T.U.).

For the hydrogen, the lower heating power has been taken, although the combustion water coming from the hydrogen of the bitumen condenses, and therefore yields the evaporation heat.

The calories available are more than sufficient in practice for the conversion of 25 kg bitumen into oil,

$$50 \times 25 \text{ cal} = 1250 \text{ cal (4960 B.T.U.)}$$

the heat carried off by the residues, leaving the kilns at a temperature of abt. 175° C (347° F) after having lost 40 kg organic substances and abt. 10 kg carbon dioxide, and carries off, therefore,

$$950 \times 175 \times 0.208 = 34580 \text{ cal (137222 B.T.U.)},$$

while the loss of calories due to the dissociation of the calcium carbonate, must be avoided as far as possible, since the decomposition of 100 kg $CaCO_3$ produces a loss of 40000 to 50000 cal (158730 to 198412 B.T U.)—and 56 kg quicklime and 44 kg carbon dioxide can be obtained from it.

In order to keep within the limits of the thermal balance we must avoid therefore more than 150 to 200 kg $CaCO_3$ (330 to 440 lbs) per ton rock being decomposed, and in practice this can be obtained by means of a rational construction of the kilns and an easy control of the combustion by regulating the supply of combustion air. In any case we must avoid temperatures in the kilns of over 750° C (1382° F).

With regard to thermal economy and continuous combustion, the heat in the treated rock is recovered by passing through the rock a strong current of air or, better still, the gases obtained from combustion or a combination of air and gas.

This recovery, in the present instance, is not only opportune, but also necessary, for obtaining high thermal efficiency.

Whence arises the third obvious condition, which however applies generally to every kiln capable of regulation, that is the necessity of preventing gas leakage at the loading and unloading points in order to obtain from the regulation of the admission of inert gases or air results most closely approximating to the theoretical thermal calculations.

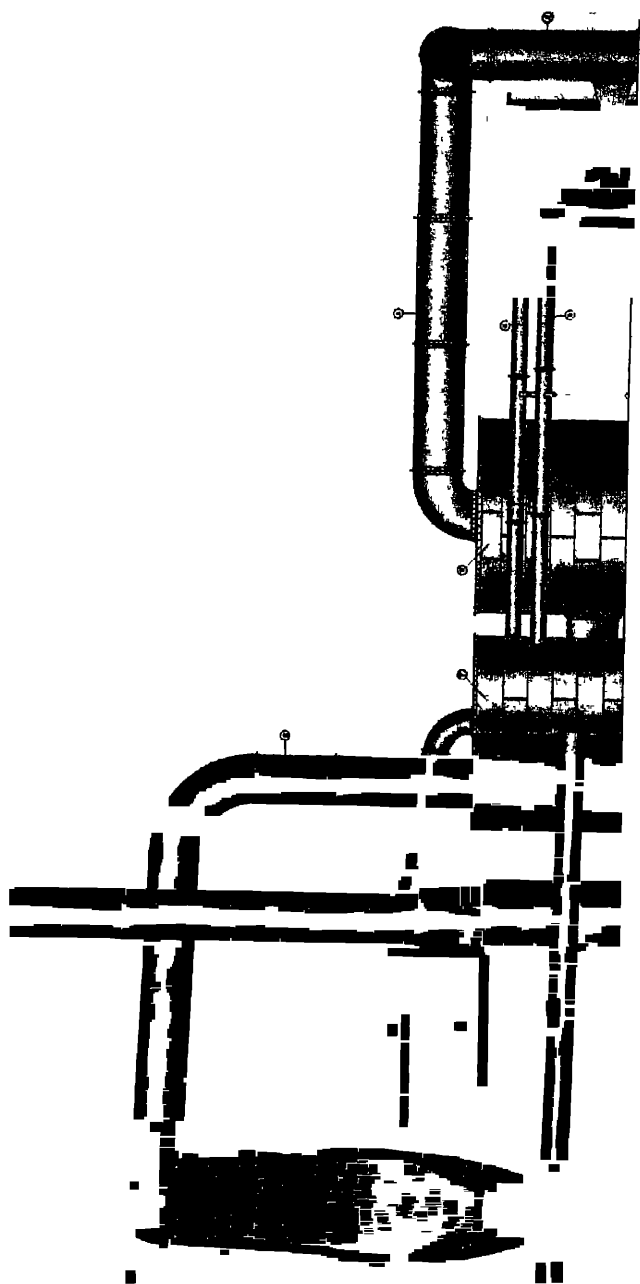



Fig 3 Distillation kiln with suction, condensation and control plant.

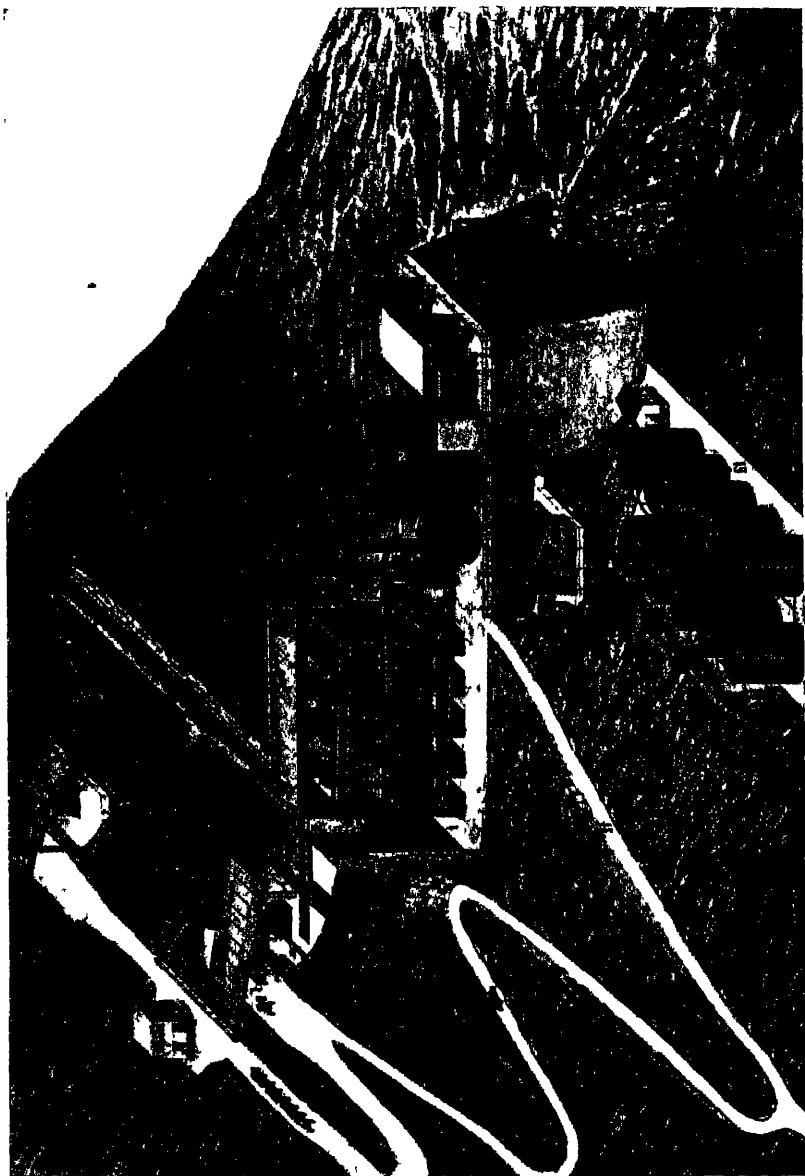



Fig 4. Complete plant for the production of 25 000 tons of oil yearly (axonometrical view) space occupied 2000 sq.m. = 21 527 sq.ft.

It is of paramount importance to limit the combustion temperature in order to avoid that pyrogenation modifications or cracking phenomena may happen in the oil produced, which would confuse and disorganize the rest of the treatment necessary in order to obtain marketable products.

The far going decomposition, cracking, is prevented also by the continual passage of inert gases which form a real heat conductor, which is therefore distributed over the masses, avoiding sudden changes of the temperature.

Eleven years experience have confirmed that:

The gases enter and leave the kilns at nearly the same temperature; the combustion water, transformed into steam, condenses yielding its evaporation heat to the gases, which carry it off together with the oil in the form of a thin fog, therefore, gases and the combustion water do not carry off, practically, heat from the kilns, but in the interior of this latter they merely act as heat conductors, and they have no influence at all on the thermal balance.

We think it superfluous to point out that there is a considerable surplus of thermal power available for starting up the kiln until the working conditions are reached,—viz. 40 kg bituminous product per ton rock, i.e. over 400000 cal (1587300 B.T.U.).

Experience has shown that the working conditions of the kiln are attained within a few hours from its firing (the kilns working at present in Ragusa attain the normal working condition in abt. 4 hours) and that these working conditions remain unaltered for months and months, until some external cause intervenes, independent of the working of the kilns.

The inert gases produced, after having done their task as heat conductors, after having carried the small particles of oil to the condensation apparatus, are again admitted to the kiln, in order that they may again circulate with the air, for the further recovery of their heat.

The gases leave the kilns at present working at a temperature of abt. 60° C (140° F) and return practically at the same temperature, owing to the heat received from the condensation of the steam and from the condensation apparatus.

With absolutely air-tight kilns, easily controllable and adjustable, we can assert that the loss of heat due to the waste gases has no practical importance, and that in no case can it influence the thermal balance.

The losses due to radiation, condensation, improper treatment, are largely compensated by the minimal assets resulting from the thermal balance

In view of the composition of the bitumen, the oxygen necessary for the combustion of the carbon, of the hydrogen and of the sulphur is 48.61 kg (107 lbs) that is abt. 34 cu. m. (1199 c.f.), and considering the composition of the air, 34 cu m. oxygen correspond to abt 166.5 cu m. air (5875 cub ft).

For the combustion of 15 kg (33 lbs) bitumen, that is for each ton rock charged in the kiln, 166.5 cu m. (5875 c.f.) air are necessary. Of course, in order that the combustion may be complete, an excess of air is necessary.

In the interior of the kiln, for each ton rock 4% not over 200 kg (440 lbs) calcium carbonate must be converted into quicklime. In this case, which represents a limit, 88 kg (194 lbs) CO_2 are evolved, that is 44.5 cu. m. (1570 c f.) measured at 0° C and 760 mm, and therefore for each ton rock, correspondingly to 166.5 cu m. air necessary for the combustion 44.5 cu. m. carbon dioxide are evolved; that is in the limiting case for the dissociation of the calcium carbonate there would be a volume increase compared with that of the combustion air amounting to 27% or so.

As can be easily inferred, this process has nothing at all in common with the usual processes employed for bituminous shales, and does not involve the same errors and mistakes made, from 1868 to 1882 by the Companies who tried to extract bitumen from the asphalt rock of the Abruzzi, only to obtain, for the most part, evil-smelling lamp oils. We repeat, however, that this same process cannot be applied as it exists to any other kind of rock, and should we wish, to-day, to exploit the Abruzzi Rocks, the most suitable method of exploitation would require careful investigation.

A kiln for all kinds of rock does not exist: each kind of rock requires its own type of kiln!

For the production of 50000 tons crude oil yearly from the distillation of calcareous bituminous rock with a minimum yield, a precise analysis of the prices, backed by experience, gives a lump sum of 50 millions lire[1] for the complete plant, including the expenses for:

Preparation and arrangement of the mining yards, in order to obtain in the shortest possible time, the maximum output from the quarrying and transport of the rocks.

The building of two big batteries of kilns, each capable of an output of 25000 tons of oil yearly.

Mechanical contrivances for the quarrying of the rock, its transport, its crushing (mechanical), the automatic loading and unloading of the kilns.

Centrifuguing plants.

Pipe lines and reservoirs in the Mine.

Laboratories, working shops, dwelling houses.

Illumination, water and power plants

Loss of interest during construction

Unforeseen expenses, preliminary expenses, etc.

Every other expense for refining plants and distillation plants, for the production of special kinds of oils, is excluded, because our purpose is to establish a comparison for the crude oil as obtained in the mine, as if it were a crude oil obtained direct from a petroleum well,

[1] Abt half a million pounds

and since on the other hand, as regards the further treatment, in order to obtain products having a higher marketable price, this crude oil is comparable to the crude product from the wells, therefore everything concerning the further treatment of our crude oil must be considered on a perfectly similar basis as in the petroleum industry.

We wish to point out here, that within a relatively restricted space we have an available source of petroleum which ensures a yearly output of 50000 tons for more than a century, whilst there is no well in the whole world which can ensure a similar production *for the same period.*

And as regards the cost of production of one ton oil, considering all the expenses for the quarrying of the rock, its collection, loading and transport, crushing, motive power, labour, working of the batteries, centrifuguing, illumination, water, maintenance, auxiliary services, renewals and so on,—the cost of one ton oil (225 gallons of 4.543 l) at the mine—for an yearly production of 25000 t—is 125 Italian lire (£ 1/6/10) which increases to 150 Italian lire (£ 1/12/3) where the minimum yield of 2.5% relative to the weight of the rock treated is attained.

If we assume a total yearly production of 100000 tons crude oil, and all general expenses, royalties for the grant of lease of the quarry, amortization in 20 years at 6% of the plants as charged exclusively to the crude oil, we will obtain a cost of 182 Italian lire (£ 1/19/2) per ton crude oil (225 gallons having 4.543 l) in tank at the mine, a cost which is raised to 225 Italian lire (£ 2/8/5) in the case of the minimum yield of 2.5%. (£ 1/—/— has been assumed as equal to 93 Italian lire.)

These costs, for Italy, are lower than the market prices of the *residues* imported, and are, moreover, perfectly comparable to the production costs of crude oil in many petroleum fields.

As regards oil prices, it must be remembered that nearly all the oils coming from the wells are generally put on the market at prices which are lower than their relative value resulting from the conversion in more valuable products (gasoline, lamp oils, lubricating oils) and there is no reason at all to exclude that a similar economical law applies also to the oils coming from the distillation of the asphalt rocks, considering that also from these products having a higher marketable value can be obtained.

The tendency of all producers has been always to restrict the sale of the crude oils as they come from the wells, and to limit the consumption of fuel oil for heating purposes, promoting on the contrary its conversion for higher grade uses.

The continually increasing application of cracking processes also in America, in order to obtain even from the poorest residues gasolines, of a low grade, but having however a higher value than the residues treated, is already known.

The world problem of petroleum is therefore not only a problem of the extraction, but today it means also the necessity of conversion by the actual owners of the crude oil; and this explains the rush of all

big producers to secure cracking patents, hydrogenation patents, continuous destructive distillation patents, and so on.

And then, if an economical comparison is wished with the petroleums coming from the wells, one must before all disencumber the field from the marvellous tales of wells which will give rivers of petroleum for eternity. Perennial petroleum rivers only exist in the imagination; wells correspond the whole world over to limited sources, and the life of a well is estimated, on a *rough average*, as not over 7 years, while its output is most variable.

Over 70% of the world production of petroleum comes from the U.S. America; the general *average* yield of U.S. wells is abt. one ton per day when distributed over the 323300 active wells existing at the end of 1927.

An average output of 1000 t per year and per well must be considered as highly favourable.

Wells with marvellous outputs form but exceptions, and on them one cannot reckon, also because the oil which bursts from a well is often considered as calamity oil, as no preparatory measures have been adopted for storing, handling or marketing; in any case it creates a sudden drop in prices and requires immediate disposal of the oil

The output of a well decreases with time in accordance with a parabola, and often the flow production of a well in its first year of activity reaches 80% of the total quantity of oil it will ever yield. In order to reach by means of drillings the productive zones, considerable initial investments are always needed, whilst it has been calculated that 30% of the wells drilled are sterile or commercially unprofitable, and operation is considered already very satisfactory if the dry wells do not exceed 30% of the total number of drillings.

Over 2000 wells are drilled annually in the U.S A. in order to keep production up to the required level.

According to the American Petroleum Institute, of the 24143 wells drilled during the past year in order to obtain petroleum, 7210, that is abt. 29.9% were found sterile. Since the same Institute values at 35000 $ the average cost of a well, about 25 million $ have been expended in order to find the absence of petroleum.

As regards examination from the point of view of the quality of the crude oil such as it comes from the distillation kilns, the results of the analysis are given below which determine their characteristic properties, and which are comparable with those of the crude oils coming from the wells

From this point of view, however, some fundamental ideas must be clearly stated, first of all, in order that the comparison may be plausible.

Between a Pennsylvania crude oil, a Mexican crude oil, a California, a Russian or Galician crude oil, there exist physical and chemical differences which are very variable, and such differences are sometimes noted also between one well and another well in the same district, or even differences

in the physical characteristics have been noted in one and the same well at various depths.

All these differences are at present being increasingly counterbalanced by subsequent treatment and destructive distillation processes, cracking, and refining processes, so that when the customer purchases gasoline or lubricating oil or lamp oil, he does not know from which original source the product he has purchased comes, nor is this known by his direct seller, and perhaps not even by the general sale agent of the respective country in which the oil is purchased; the purchaser considers at the very most perhaps the trade mark of the product he purchases, and which is more or less enforced by an advertising system which absorbs enormous sums of money.

The differences in the composition of the crude products are so appreciable at times, that great confusion would be caused were it not for the subsequent treatment employed in producing gasolines and oils for specific purposes, such as alone characterise the marketable product which is never known by its original composition.

The technology of distillation, cracking, refining and hydrogenation due to the necessity of standardising oils from different sources and of different compositions has made such progress that it can be asserted there are no oils in the world, the Ragusa oil included, which are not subject to standardisation.

The question is simply a technical problem, a problem of economical means, and it should not be thought, particularly in countries where petroleum supplies are scarce, that the crude oil of a given source must be excluded, because it has not the composition of Pennsylvanian or Roumanian or Persian oil, or because it has a new composition as yet nowhere else found: on the contrary, close investigation is necessary, to find out which are the most suitable processes in order to obtain from that source products which can suitably be employed for a predetermined purpose.

When the economic welfare of a country is at stake no difficulties must be allowed to stand in the way, particularly with regard to the modification of specifications which are too severe and often even absurd and which are imposed nearly always by those who, having large means and a large variety of products, have been able to dominate the market.

Crude oil, obtained directly from the distillation of bituminous calcareous rocks in the Plants of the A.B.C D. Company at Ragusa:

1. Analysis made at the National Petroleum School of Strassburg:
Colour reddish-brown: green reflexes.
Odour: not disagreeable.
Specific gravity at 59° F (15° C) ...0.960 (15,9° Baumé).
Viscosity at 68° F (20° C) ... 20° Engler = 115.5° Redwood Standard.
Viscosity at 122° F (50° C) ... 3 4° Engler = 21 8° Redwood Standard.
Flash Point P.M. 248° F (120° C).

Distillation range according to Engler:

Distillation below 437° F (225° C)	....	1%
,, at 437/572° F (225/300° C)	......	13%
,, ,, 572/662° F (300/350° C)	......	35%
,, ,, 662/716° F (350/380° C)	......	27%
Residue (containing also oils) and losses	....	24%
		100%.

Range of the vacuum distillation.

at 50 mm = distillation at 392 to 554° F (200 to 290° C) ...28%
Viscosity at 95° F (35° C) ...1.5° E = 84° R.S.
Flash Point P.M. 316 4° F = 158° C.

at 50 mm = distillation at 554 to 633° F (290 to 345° C) 30%
Viscosity at 95° F (35° C) ... 41.8° E = 238° R.S.
Flash Point P.M = 428° F (220° C).

at 50 to 100 mm = distillation above 633° F (345° C) 9%
Viscosity at 95° F (35° C) ... 8 4° E = 48 9°RS.
Flash Point P.M. 208 4° (98° C)

2. *Analysis made by Prof. C. Manuelli (1923)* (Proceedings of the First Italian Congress of Theoretical and Applied Chemistry):

Specific gravity at 59° F (15° C)	0.963 (15.5° Bé)	0.967 (14.8 Bé).
Viscosity at		
68° F (20° C)	13.9° E = 80 8 R S.	14.4° E = 85.7° R.S.
122° F (50° C)	2.4° E = 13 5 R.S.	3.2° E = 18 1° R.S.
212° F (100° C)	1.2° E = 7.2 R S.	1.5° E = 8.4° R.S.
Flash Point P.M.	210 2° F (94° C)	222.8° F = 106° C.
Highest calorific value (Mahler)	40079 B T.U. (10100 cal)	40674 B.T.U. (10250 cal).

Distillation Range:

distillation below 482° F (250° C)	6.5%	8 %
,, at 482 to 572° F (250 to 300° C) ..	11 5%	13.5%
,, above 572° F (300° C)............	82 %	77 7%
Mineral acidity	absent	
Organic acidity (valued as SO_3).................	0.06%	0 10%
Insoluble in analysis benzoline[2]	0	1.18%
Insoluble in a mixture of alcohol and ether........	0	1.—%
Paraffin	1 8 %	3.1 %

It is a non-drying oil, and it does not contain resinous compounds. It is soluble in ether, petroleum gasoline, benzol, carbon bisulphide and tetrachloride. Its solubility in alcohol is abt. 10% and in dimethyl sulphate abt. 4% It absorbs iodine and bromine; hot, it reduces the ammoniacal silver nitrate solution, forming the metallic glass, hot, it reduces both the neutral and acid potassium permanganate solution, it reacts with sulphuric acid forming sulphur dioxide and bituminous

[2] Spec gravity 0 695 to 0.705 (60 to 72° Bé) distilling from 140° F to 203° F (65 to 95° C)

substances: it reacts with nitric acid accompanied by slight development of heat The average molecular weight, established with the cryscopic method in a benzene solution: 132 to 145

Formolite value	53.04%
Iodine value	37 5%
Not reacting with HNO_3	27.4%
Not reacting with H_2SO_4	30 % (abt.).

Elementary analysis:

H = 10 99 to 11.25%
C = 85.00 to 85.79%
S = 2 9 to 3.2 %.

3. Analysis made in the Laboratories of the A.B.C.D. Company: Specific gravity 0.960 to 0 965 (15 9 to 15 3 Bé).
Viscosity at:

104° F (40° C)	6.3° E = 36.8° R.S
122° F (50° C)	3 5° E = 22 7° R.S.
140° F (60° C)	2.5° E = 13 9° R S.
158° F (70° C)	2.0° E = 10.9° R.S.
176° F (80° C)	1 7° E = 9 4° R.S.
194° F (90° C)	1 4° E = 9.0° R S.
212° F (100° C)	1 3° E = 7 2° R.S.
Flash Point P.M	258 8° F = 126° C
Flash Point in open cup	262 4° F = 128° C
Fire point	316.4° F = 158° C.

Ashes 0.008%.

Hard asphalt (insoluble in petroleum ether)	1%
Soft asphalt (insoluble in alcohol-ether mixture)..........	0 15%
Not reacting with H_2SO_4	32%
Sulphur (Mahler)	2 19%
Organic acidity (valued as oleic acid)	0.35%
Organic acidity (valued as SO_3).........................	0.049%
Mineral acidity	absent.
Alkalinity	absent
Distilling under 572° F (300° C)	18/22.3%

The cyclic, naphtenic and methane hydrocarbon contents, non-saturated, the presence of sulphorganic compounds, the characteristic comparatively low contents of hydrogen, the high density distinctly place the Ragusa oil amongst the great and prevalent category of the oils having an asphaltic base

Contrary, however, to the majority of oils of the above said category, the Ragusa oil *contains only a negligeable part of hard asphalt,* and does not present resinifiable substances; the presence of non-saturated compounds renders it, according to the best modern authorities, particularly well adapted for the production of lubricating oils, though this obviously does not preclude even 50% light products being obtained, when treated according to the cracking process.

Undoubtedly few possibilities of exploitation exist worthy of the close investigation made by Italian engineers for the exploitation of the calcareous bituminous rocks deposits in the Ragusa district, an exploitation which the National Government, by the promulgation of special legislation, intends to develop on a large scale.

It is necessary however to avoid all generalisation: every utilisation of power found in nature though only in a potential form requires special methods of development in order that it may become economically useful.

Résumé

Dans plusieurs parties du monde il y a des roches calcaires ou arénaires ou sableuses, qui sont plus ou moins imprégnées d'hydrocarbures.

La roche calcaire imprégnée qui se trouve, en général, en Europe, s'appelle roche asphaltique qui est connue, jusqu'à présent, pour l'application au pavage des rues.

Parmi les roches asphaltiques un cas spécialement favorable se présente en Italie Sicilia (Ragusa) où se trouvent des gisements très importants, visibles et attaquables à ciel ouvert.

Les calcaires bitumineux n'ont rien de commun avec les schistes bitumineux, et les méthodes connues jusqu'à présent pour l'extraction de l'huile des schistes, ne sont pas, économiquement, applicables aux calcaires bitumineux.

La possibilité économique du traitement des calcaires bitumineux pour obtenir des huiles minérales, est strictement liée aux conditions suivantes qui sont toutes réalisables en Italie dans les calcaires de Ragusa·

Importance quantitative du gisement, exploitation à ciel ouvert, facilité d'abatage et mouvement des roches en grandes masses, vitesse élevée de passage des roches dans l'appareil de distillation, élimination de tout combustible extérieur, élimination autant que possible de la sélection dans la roche telle qu'elle provient de la cave, disponibilité de niveaux suffisants pour la décharge de la roche résiduelle de la distillation.

La réalisation des conditions susdites, a rendu possible la mise en valeur de minéraux relativement pauvres en obtenant un pétrole brut tout à fait comparable à certains pétroles à base asphaltique et à un coût de production même comparable aux coûts de production de certains pétroles bruts provenant de sources naturelles.

L'appareil de distillation, four, utilise pour le chauffage une fraction du carbone contenu dans le calcaire bitumineux même et dans le four on pratique la récupération presque complète de la chaleur par le retour dans le four des gaz inertes après la condensation de l'huile

La distillation de la roche doit s'effectuer à basse température, soit pour éviter la scission du calcaire, soit pour éviter la formation du «cracking» qui donnerait lieu à une huile décomposée.

Par la réalisation des conditions susdites on obtient un pétrole brut à partir duquel, d'après les mêmes procédés employés jusqu'à présent dans l'industrie des pétroles (distillation fractionnée, cracking, hydrogénation etc) il est possible d'obtenir des produits dérivés (huiles de graissage, essence, etc) tout à fait comparables aux mêmes produits qui sont connus jusqu'à présent dans le commerce

Japan

The Oil-Shale Distilling System at Fushun

Japanese National Committee

I. Introduction

The demand for liquid fuel is on the increase in proportion to the progress of world civilization. Japan has been putting forth its best effort, for more than ten years, to find this material at low cost within her borders or in the vicinity.

The oil-shale found at coal mines at Fushun has been one of the resources that drew the greatest attention of the people concerned, due to the fact that about 270,000,000 t of shale-oil may be obtained from these mines.

The oil-shale at Fushun lies 450 ft. thick right above the coal seam. The total shale deposit at Fushun is estimated at 5,000,000,000 t, of which about 2,300,000,000 t may be obtained 1,000 ft. under ground.

The coal at the western section of Fushun is at present mined by the open cut system. Naturally the oil-shale which covers the coal has to be stripped off regardless of its utilization The shale thus taken could be supplied to the plant free of cost.

Such being the case, the South Manchuria Railway Company has made researches, for several years, as to the possibility of the shale-oil industry. As the result of researches, it was discovered that the existing system of the shale-oil industry in the world could not be applied to the case at Fushun, in spite of the above mentioned favourable conditions, and further that, on account of the poor quality of the oil-shale at Fushun (the average oil content of which is 5.50 %), too much of the initial expenses, and a large quantity of the auxiliary (supplementary) fuel are required for the production of crude oil. Thus all the research work was given up.

According to the experiences gained by those engineers who have long handled the coal gas industry at Fushun, they found that it is most economical to distill the oil-shale by internal heating, that it is possible to handle a larger quantity of the shale, and further that thus might be obtained the maximum quantity of sulphate of ammonia. Consequently they deviced a new system, whereby, from 1923 to 1926, they pursued experiments with a special furnace operated on a quasi-industrial basis.

They were successful in attaining anticipated results. At the same time they were able to extract fuel-oil, gasoline and paraffin out of the

newly obtained crude-oil The Company soon obtained the patent thereof, and made a plan for the first period of building a distilling plant with a capacity of handling 4,000 t of oil-shale a day, together with a crude-oil refinery to be attached thereto This plan was carried out within two years, and the construction of the plant was completed at the end of 1929. It has been running since the beginning of this year.

The writer will now give particulars regarding the distilling system at Fushun.

II. The Distilling System

The object of the distilling system at Fushun is to obtain economically crude oil and sulphate of ammonia from the oil-shale at Fushun, whose oil content is poor and whose calorie quantity of heat is low. The method is based on the same principle as that of the well-known method, whereby the tar of low temperature is obtained by means of the distilling cylinder attached to the upper part of coal gas producer.

In the case of coal, however, only a part of the sensible heat is sufficient, in respect of the calorie quantity used for distilling purposes. In the shale at Fushun there is a small quantity of the fixed carbon contained in the shale coke. The quantity of the gas produced is proportionately small. Accordingly the quantity of sensible heat does not reach even half the amount required. Therefore this insufficient quantity of gas is first heated properly outside, and then blown into the conical bottom of the cylinder, and thus the distillation of the raw shale will be perfected.

The gas producer is operated by the Mond gas producer system, in order to produce the maximum quantity of ammonia gas. and for the reasons set forth in the other chapter.

Fig. 1 shows a sketch giving the general description of our new method. Combustible gas, steam, ammonia gas, etc. which have been produced by the shale coke in the producer will mix with the hot gas that has been heated in the heater outside, and then will enter into the distilling cylinder, and then will directly distill the raw shale therein, and then will, accompanying the oil vapour produced therein, go out of the retort.

These mixed gases will be cooled down to the proper temperature in the first cooler. As they pass through the tar disintegrator, the crude oil disintegrates. Through the ammonia absorber which is installed next to the disintegrator, sulphate of ammonia is produced, while the ammonia gas is absorbed into the sulphuric acid, which is one of the washing fluids. Finally, in the second cooler the saturated steam in those gases will be condensed and removed, leaving only the combustible gases there

Part of these combustible gases will turn into hot gas by passing through the heater, and then the gas will be blown back into the conical bottom of the cylinder to act as the conveyor of distilling heat Some other part of combustible gas will be used as fuel in the heater; the remaining gas being used as the heat source for the steam boiler and others.

The steam, produced in the boiler, will be supplied to blast which is required at the time of gasifying the shale coke. Should there be any surplus of steam, the same may be appropriated for power or other purposes.

The above-mentioned process is to be operated continuously, and therefore the plant may be run smoothly without being equipped with a gas holder.

The heater for producing the hot gas to be used for distilling purposes is so equipped that it may alternatively be used by means of a pair of

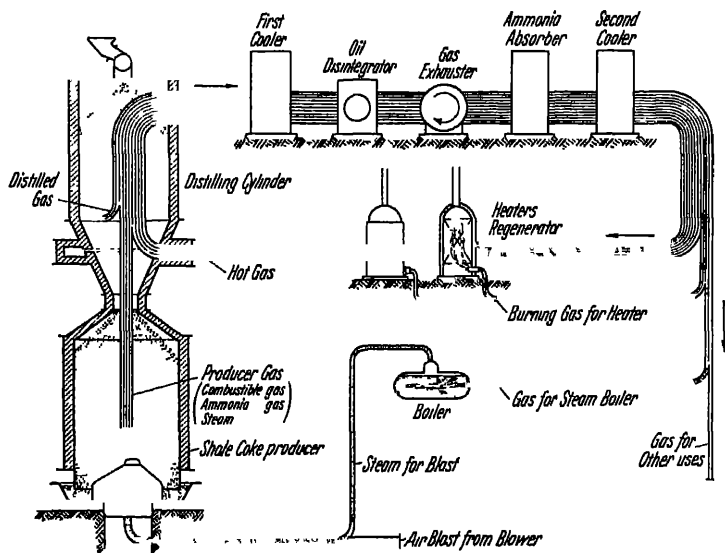



Fig 1 Fushun-Process Oil-Shale Retorting.

regenerators, and this equipment is equal to the hot stove of the blast furnace.

Now, in respect to a high rate of heat efficiency throughout our whole system, there is no similar case in other systems. In the case of the shale at Fushun, our method is able to handle successfully, without supplementary fuel, even shale with only 3 % oil content. At the same time, another characteristic of our system is the fact that a great quantity of sulphate of ammonia can be obtained.

III. Retorting Raw Shale

The distilling cylinder and the gas producer at Fushun have a daily throughput of 50 t of shale.

This cylinder is made of an iron plate with a funnel-shaped bottom. The inside is lined with fire-bricks with an inner diameter of 2.6 m. The lower end of the cylinder is connected with the gas producer by means of a straight cylinder with an inner diameter of 1 38 m Encircling

the funnel-shaped bottom at the lower part of the cylinder, there is the ring-shaped gas passage, which connects with the inside of the cylinder through numerous flat ports made all around this gas passage, through which the hot gas is blown uniformly into the cylinder.

At the upper and center part inside the cylinder, there is placed a conical iron plate (diameter of 1.8 at bottom) with a gas outlet pipe attached thereto. As this iron plate is always covered with raw shale, the gas that rises will gather at the top center of the cylinder. Consequently all temperature zones will be regularly formed inside the cylinder, and in the gas leaving the cylinder there will be little quantity of dust mixture

The distilling cylinder has an effective volume of about 20 cbm, equal 20 t of crushed shale.

The size of shale to be charged in the cylinder has an important bearing on the capacity of retort. In order quickly to raise sufficient temperature to pass heat into the core of each lump of crushed shale, the size should be small. From this point of view, therefore, the smaller the lump, the more distilling capacity the retort will have. From the other point of view, however, when crushed into smaller sizes, it will be hard to let the hot gas pass through those lumps sufficiently, resulting in the decrease of the distilling capacity. In crushing the shale into smaller sizes it will result in producing dust easily. When the shale thus crushed is charged in the distilling cylinder, equal distribution of hot gas for the horizontal section of retort will be checked, making it impossible to form regular temperature zones.

According to our experiments, the suitable size of shale for the cylinder is apparently 1 to 2 sq in.

Now, according to our study in the laboratory, the distilling temperature of shale oil is at 350 to 470° C. Therefore the temperature zones in the cylinder should be formed in perfect condition and in proper thickness.

The suitable temperature of the hot gas to be blown into the cylinder for the above purpose should be at 550 to 600° C, because, owing to the fact that about half of what is considered as the distilling heat is spent to warm the shale coke, there will be a difference of about 100° C between the temperature of the hot gas near the blowing inlet at the bottom and the temperature in the middle of the cylinder.

The heat required for completely distilling 1 kg of the Fushun shale is 200 calories on the average. A little less than 50% of these calories is supplied by the producer gas (0.39 cbm) and the sensible heat of steam. Therefore the quantity of supplementary hot gas from outside is nearly 0.70 cbm. This quantity, however, may, of course, be varied with increase and decrease of the producer gas.

The above is to be calculated in assuming that the temperature of gas at the outlet of the cylinder is at 150° C. Therefore, in actual working, the temperature at the outlet of the distilling cylinder and the temperature of the hot gas should be kept up at 150° C, and 550° C respectively, in order to make sure of complete distillation. By closely

watching the gross quantity of the hot gas and the producer gas at the end of the second cooler, the distilling throughput of shale at the moment may be conjectured.

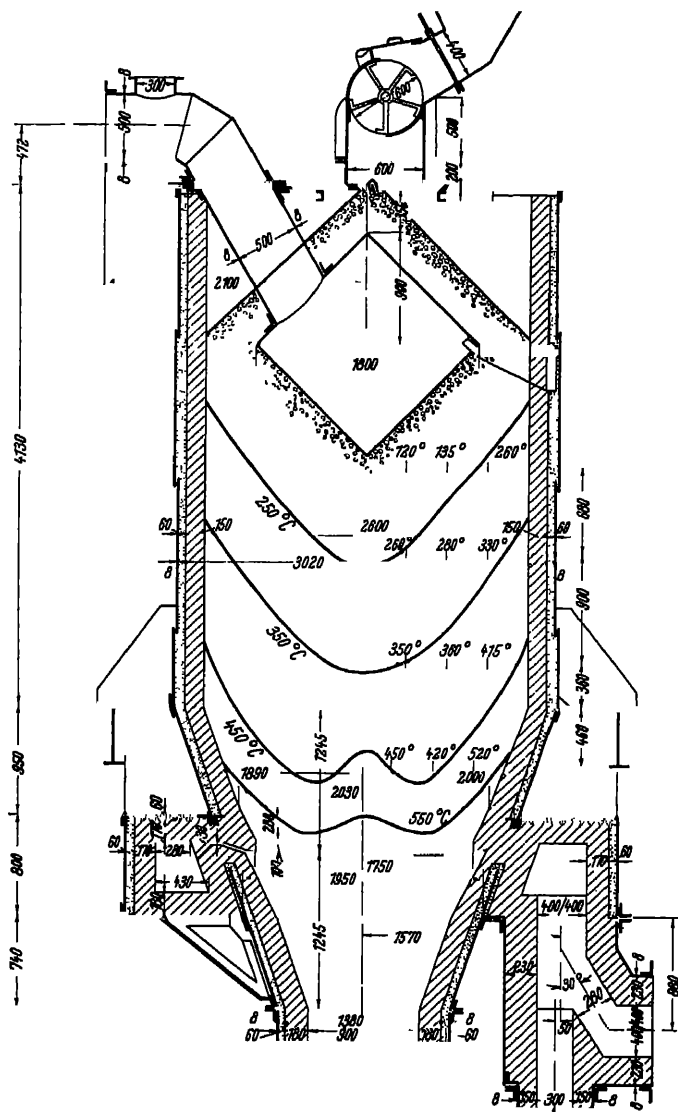



Fig. 2. Sectional View of the Distilling Retort.

Fig. 2 shows the same temperature zones formed in the retort when treating 50 t (full load) of shale a day This is the result of actual observation.

Each temperature zone, which is shown in Fig. 2, has almost equal thickness at any point. And the fact that the temperature is rising regularly from the lower zone to the higher means that the hot gas is distributed in direct proportion to the falling density of raw shale at any part of horizontal section. This may prove that the formation of this cylinder is most suitable for the purpose of distilling the Fushun shale.

The distilling zone (350 to 500° C), where the distillation of oil content is carried on completely, has a volume of about 7 cbm. In calculating the capacity for treating raw shale at the rate of 50 t a day, the raw shale takes 3 h and 20 min. to stay in this distilling zone. It is plain that, according to our experiments in the laboratory, this duration of time is sufficient for complete distillation of shale, 2 sq.in in size, the distillation being started at its surface and then completed at its core.

As described above, the shale will, of course, undergo complete distillation, while it passes through the cylinder, and as no cause has been found for cracking the oil yielded by heat as in case of the external heating system, it is not hard to presume that the quantity of distilled oil which may be obtained will reach 100% or more than what obtained in the laboratory.

The percentage of oil actually obtained in our plant is nearly 95%; the percentage of oil will depend on the efficiency of a recovering system for obtaining crude oil from gas We should, therefore, consider that this is a fairly satisfactory figure.

The quality of oil obtained from raw shale is as follows:

Property of crude oil:

Color	dark brown
Specific gravity at 15° C	0 909
Setting point	36° C
Viscosity (Saybolt, universal) at 60° C	55.6

Elementary analysis:

C 83.51 % H 12.56 % N 1.35% S 0.54%

Heat value	11,450 calories
Tops at 275° C	15.87 %
Unsaturates in tops	44.4 %
Paraffin content (Melting point 51° C)	14.7 %

An abundance of paraffin content characterizes the crude oil produced at Fushun. Fushun shale was tested at a world-famous shale factory operated under the external heating system and nearly 8% of paraffin was yielded from crude oil, and 83% of crude oil was obtained from raw shale against the percentage obtained at the laboratory

It may be argued that the crude oil obtained under the internal heating system is of much inferior quality, as compared with that obtained under the external heating system. If, however, the crude oil obtained under the external system can be used in its original form, and marketed at a high cost, then there is no contending against it. As it is, we are confident of better success though it may be more or less of inferior quality in first obtaining the maximum quantity of crude oil

under our system, and then afterwards in proceeding to the refining of such crude oil, than in obtaining a comparatively small quantity under the external heating system.

IV. Gasification of Shale Coke

The most interesting task at the experimental stage of our system was the gasification of shale coke. One task was to abolish totally the trouble of frequent pokings in order to settle the fire zone well, as in the case of the coal gasification. Another task was to clear some doubts concerning an attempt of yielding the maximum quantity of combustible gas without poking from a small amount of the fixed carbon contained in shale coke.

Shale coke, unlike coal, lacks the softening property at a low-temperature. The above-mentioned task of poking by man-power was exceedingly hard, and that without a desired effect Thus it was expected to be quite a hard task to do away entirely such pokings and to gasify only about 4% of the fixed carbon, without leaving a bit of it in the spent ash.

If, however, the above task should not be succesfully done, it would have shaken the foundation of our system. Hence the most elaborate research work had to be kept up.

In this way after two years' hard experiments, we devised this new producer, which is now running. The details thereof are described as follows:

This new gas producer is installed right below the distilling cylinder. It is lined with fire-bricks, the inner diameter being 3 m. It is a cylinder made of iron plate, and is connected directly with the distilling cylinder through a narrow neck part. The outside of the producer bears a general resemblance to the by-product recovery gas producer. The reason why this furnace is operated under the Mond gas producer system is because the Fushun shale contains on the average 0.38% of nitrogen, and consequently sulphate of ammonia has to be obtained therefrom as much as possible. There is, however, another important reason regarding the melting of spent ash.

The melting point of the Fushun shale is rather at a low temperature, about 1,300° C. Therefore, if the highest temperature in the producer exceeds 1,000° C, it is dangerous in actual working.

In case, however, gasifying shale coke with the air blast only or a blast saturated with steam at a low temperature, part of the ash will melt in the retort, forming clinker, whereby the well-settled fire zone will be destroyed. It is then not only hard to take out ashes, but also a complete gasification of shale cannot be expected

There are two explanations advanced for the above-mentioned case. One is that the formation of clinker in the producer will check distribution of blast, throw the combustion zone, reducing zone, etc into irregularity, and create abnormal condition in the process of producing combustible gas. Therefore the quality of the producer gas will be degraded. The other is that shale coke will burn slowly, necessitating it to take sufficient

time to burn the coke lump thoroughly into its core. Rapid combustion as in the case of coal, is impossible. This may be a special feature of shale coke, whose major portion consists of ashes.

By the time when the surface of shale coke lump melts at a high temperature, oxidation of the inner carbon shall have already been checked, causing a loss of carbon, resulting in the decrease of gas production considerably.

According to our experiences, it seems that the dangerous limit, when treating the Fushun shale in our retort exists in a blast saturated with steam at about 75° C.

Hence, in order to complete gas production and to facilitate the taking out of ashes, it is necessary to mix still more steam with the blast, and to control the rise of temperature in the furnace. This necessity happens to consist with the by-product recovery producer.

It was desirous to draw a plan that there should be set up an apparatus (for charging and distributing coke by a suitable mechanism) in the connecting pipe for supplying coke from the distilling cylinder to the producer, and enough space for gas should be found at the upper part of the producer. This plan, however, was given up in fear that a part of the mechanism might be burned by a high temperature gas in case of the fire zone in the producer rising abnormally.

At the first stage of experiments, the cylinder and the producer were directly connected for operation by simply a column of coke. The formation of fire zone, as shown in Fig. 3, has a deep-bowl-shape. The quality of the producer gas as well as the yield of gas ammoniac was unsatisfactory. The capacity of retort could not exceed 40 t of shale a day.

As it was plain that such phenomenon occurred due to the fact that the blast passed through the shortest way along the inner circumference of the producer, and as the need of increasing the volume of gasification in the producer was keenly felt, a gas-collecting-cover was set up at the upper part of the producer, as in the case of the distilling cylinder, so that the blast might pass through even the middle part of the retort.

The formation of a deep-bowl-shaped fire zone appears to have a bearing also on the shape of crushed raw shale. When it is crushed after it has been left in the open air for a few days, it will not take a cube shape, but a slate shape. This, however, seldom takes place in case of crushing it soon after mining. When these crushed slate lumps of raw shale fall slowly down from the upper part of the producer, those in the furnace wall fall by taking their vertical positions, but those in the middle part drop by taking their horizontal positions. The fact that they each take different directions in the above manner would have a considerable effect on the fire zones.

Therefore, at the latter half of experimental stage, these points had to be improved. A fire-brick circular-cover (under which a gas collecting space is formed) was placed at the upper part of the producer. This cover was supported by six fire brick pillars from the furnace wall. The producer gas collected at the space under the circular cover is conducted outside the furnace through the gas passage made along these pillars.

And the coke from the distilling cylinder, being checked by the circular cover, changes its direction. It first goes to the furnace wall, and then, passing through between the fire brick pillars, falls into the producer.

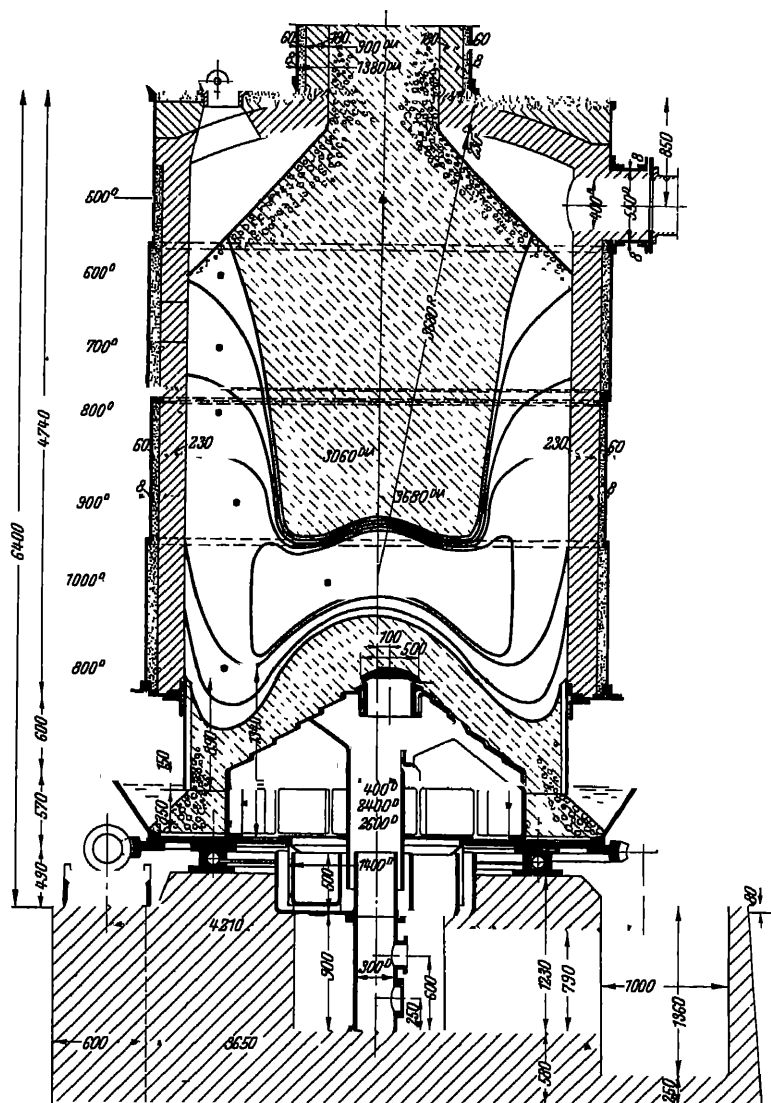



Fig. 3. Sectional View of the Gas Producer used in the Research Work

As the result of this improvement, the condition of the fire zone, as seen in Fig 4, brought about a great change. The calorie quantity of heat of the producer gas (including the distilled gas yielded in the distilling

cylinder) increased from 900 calories to 1,170 calories. In the recovery of ammonia sulphate, it reached 15 kg per ton of raw shale against the former output of 11 kg. The capacity of the producer also increased,

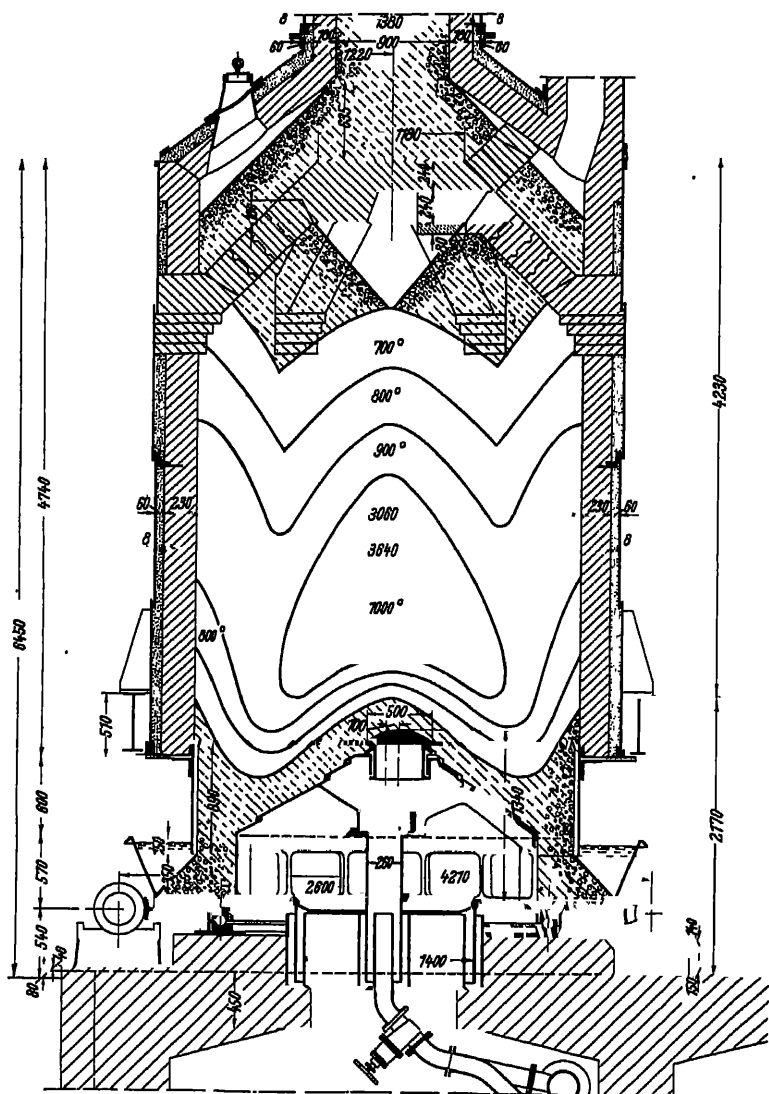



Fig. 4. Sectional View of the Re-Constructed Gas Producer Showing the Fire Zone.

being able to treat well over 50 t of shale per day. At the lower part of the producer there is placed an eccentric polygonal grate (generally used for gasifying dust coal). All over the surface of this grate there are drilled small holes, 6 mm in diameter, for the blowing outlet of the blast.

The grate is supported by a revolving ash pan with water seal. The lower end of the furnace wall (outside), is equipped with ploughs, shovels, etc., in two sets each for the purpose of discharging ashes.

The ashes reach 70—80% of the charged raw shale, and as 40 t of ashes a day must be removed, one set of shovels is insufficient. And a deep water seal of the ash pan is not desirable for facilitating the removal of ashes. That is the reason why the gas pressure in the furnace cannot be increased.

In order to minimize the pressure loss caused by the fact that gas passes through the whole column of the furnace, it became necessary to set limits to the size for crushing the charging raw shale. From this sense, the larger the size, the better it is.

The inside of the grate is partitioned into two chambers, so that two different blasts in the middle part and in the circular wall of the furnace can be used. These two rooms are each connected with a separate main blast pipe. The reason therefore is that when a great quantity of highly heated ashes drops into the water seal, surrounding the grate, a considerable amount of steam is produced and this, instead of mixing with the whole portion of blast, will be added only to a part of blast which rises along the circumference of the furnace wall. Consequently, the rise of temperature of this part is checked, and the incandescent zone which is required for the gas producer, will form only at the upper part of the grate in an unsteady shape

In order to remedy these defects, it was necessary to use double blast. The blast blown from the middle of the grate was regulated to be at 84° C, saturated temperature with steam, and the blast going toward the circular wall of furnace at 80° C. In this manner it was intended to compensate the effect of the above-mentioned defects, so that a thick gas making zone may be formed.

A preheater for blast, as in the case of coal gas producer, is not required for the shale coke producer. The quantity of blast required for the gasification of shale coke is small in direct proportion to the fixed carbon contained in shale coke. But, due to a great quantity of ashes which fall after combustion, the blast will have already received sufficient preheat by the time it reaches the incandescent zone by passing through the high temperature ash zone.

The attempt to gasify the fixed carbon of meagre quantity, which is contained in shale coke, has been carried out with an unexpectedly successful result The loss of the carbon remaining in ashes is almost negligible (less than 0.5% of ashes). The quality as well as quantity of the produced gas has also been satisfactory. Although these successes were achieved principally by the reconstruction of the retort as stated above, the fact that the preheating of blast has been carried on completely should also have been an important cause. The producer gas, owing to the fact that the temperature at which the coke falls from the distilling cylinder is at about 500° C, is not cooled by the coke. The produced gas, being kept at a suitable temperature about 600° C for the distillation of shale, is once conducted outside the producer, and then, mixing with

supplementary hot gas, is sent up to the distilling cylinder on the top, as mentioned above.

The effective volume of this reconstructed gas producer is about 27 cbm and in case of treating 50 t of raw shale a day, the coke stays in the producer for about 15 h. This duration of time is also sufficient for the shale coke, whose gasification is progressing slowly.

In actual working, the conditions to decide the capacity of the retort are distinguished by the temperature of the producer gas, analysis, etc. In substance, however, the capacity may be decided by the colour of ashes. That is to say, when the ashes have a black and or pale colour, it indicates that there still remains some fixed carbon, and that the quantity of coke for treatment is too much for the amount of blast blown into In case, however, the colour of ashes becomes white and or reddish brown, it may be considered that the process in the retort is progressing perfectly.

As described above in the plan of our producer, importance has been attached to obtaining highest heat efficiency and simplification of working. Although the number of men requred for working is small, a steady operation may be continued.

Analysis on the average of shale coke (percentage of oil-yield from raw shale is 6%):

Carbon	6 33%
Hydrogen	0.42%
Sulphur	0.75%
Ash	92 00%
Heat value	640 calories

Analysis on the average of producer gas·

Carbon dioxide	17 5%	(19.0 to 16.0)
Oxygen	0.2%	(1.0 to 0.0)
Carbon monoxide	6.0%	(6.5 to 5.5)
Hydrogen	15.5%	(17.0 to 14 0)
Methane	2.5%	(3 5 to 1 5)
Nitrogen	58.3%	
Heat Value	810 calories.	

The producer gas is mixed with the distilled gas by passing through the distilling cylinder, and then the heat is enriched to a considerable degree. The analysis of this mixed gas is as follows:

Carbon dioxide (containing hydrogen sulphide)	20 0%
Oxygen	0 2%
Carbon monoxide	5.5%
Hydrogen	18.0%
Methane (containing higher Hydrocarbons)	6 0%
Nitrogen	50 3%
Heat Value	1,170 calories

V. Heat Balance of the Fushun Oil Shale Plant

As stated above, the whole plant under our system can be operated by self-supply of necessary heat without requiring supplementary fuel.

The supply of heat source, needless to say, is taken from both the producer gas and the distilled gas. The quantity of the former is in direct proportion to the fixed carbon contained in coke, and that of the latter is proportional to the volatile matter of raw shale. Accordingly, the sum total of heat varies, as a matter of course, with the quality of raw shale.

Now, a question arises as to what is the minimum heat value of raw shale which can bring our system into existence.

The answer to this question is the result of calculation; the percentage

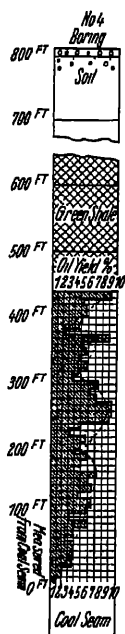



Fig. 5. Section of the Fushun Oil Shale Seam Showing Oil Yield According to its Depth.

of oil content in the case of Fushun shale is about 3% (heat value of raw shale is 1,000 calories)

The quality of Fushun shale ranges between 1% and 10% of oil content The average is said to be 5.5%. Looking at the condition of distribution, as shown in Fig 5, the one right above the coal seam is of the lowest grade Excepting this section of about 30 m, all of the remaining section of 110 m (although each section differs more or less from the other), can send the oil shale (6% on the average) to the retorting plant, without taking the trouble of separation.

As it is intended to carry out the above plan in actual working at our plant, the heat balance of the plant will be shown below, on the basis of the average raw shale:

Analysis of average raw shale distilled:

Distilled water	5 25%
Distilled oil	6.00%
Gas (42.5 cbm per ton)	4 35%
Coke	81.40%

Elementary Analysis.

Water	4.00%
Carbon	12.52%
Hydrogen	2.00%
Oxygen	6.52%
Nitrogen	0.38%
Sulphur	0.71%
Ash	73.82%
Heat value	1,390 calories

Heat Balance Sheet

No.	Item	WE	Total
1	Total Calories of Raw Shale (oilcontent 6%)	1390 WE	Total WE 1,404
2	Sensible Heat of Blast	14	
3	Heat in Crude shale Oil recovered	650	
4	Loss of Oil Carried by Gas	20	
5	Heat dueto Chemical reaction and Moisture evaporation	55	
6	Radiation Heat Loss of Retort bottom	25	
7	" " " " " Cylinder	20	
8	Sensible Heat Losses of Gas and Steam	78	Total WE 1,404
9	Radiation Heat Loss of Inlet of Hot Gas	10	
10	" " " " Hot Gas Pipings	10	
11	" " " " Producer	60	
12	Heat of Steam evaporated at Producer lute	62	
13	Carbon loss and Sensible heat in ash	68	
14	Heat loss due to Radiation Chimney of Regenerator	56	
15	Heat of Gas burnt for Blast steam raising	160	
16	Heat of Surplus Gas for other uses	130	

1 ig. 6. Heat Balance of the Fushun Oil Shale Plant

Fig. 6 illustrates the condition of heat value distribution respecting 1 kg of raw shale. Importance is attached to the quantity of heat and the sensible heat of a solid, liquid and gas. The latent heat of steam and the heat value of hot gas constantly circulating as the carrier of the distilling heat between the regenerator and the distilling cylinder, is understood in this Fig. 6.

The quantity of gas produced (mixture of the distilled gas and the producer gas) is about 390 cbm (heat value, 1,170 calories) per ton of raw shale, being equivalent to 455 calories per kg. This gas (mixed with some oil vapour which could not be recovered in the oil-catcher and other cooling apparatus) is used as it is for various purposes.

This gas is first used in the regenerator, where about 40% of it is consumed, giving heat value of 186 calories to the regenerator, and consequently heating the circulating gas. Then the distilling cylinder is supplied with this sensible heat, while this sensible heat is annexed to the sensible heat of steam and gas coming from the gas producer, and then it serves as the heat source for distilling raw shale in the cylinder.

The second use of this gas is to make blast steam by burning in the boiler furnace. The quantity of air required for blast is about 250 cbm per ton of raw shale. The steam to be saturated, at 82° C (300 mm water height), with this air is 200 kg. Putting various heat losses together, it requires 160 calories (per kg of raw shale) to produce the above steam, being equivalent to 30% of the total quantity of gas.

The remaining 30%, namely, 140 calories of this gas is used partly as power or sent to the crude oil plant Thus it serves various purposes effectively.

The Fushun shale has a special feature that its heat value does not vary with the quantity of the distillate oil. It is, therefore, hard to infer the whole from an instance as shown in this Fig. 6, but, in substance, when the quantity of oil content in raw shale varies, the quantity of heat in the distilled oil varies with it only in direct proportion; the heat value of coke does not vary, to an appreciable extent, with variations of the distilled oil.

That is the reason why the distilling plant at Fushun may be operated with remarkable reliability.

VI. The Oil Plant in the First Stage

The construction of the oil plant in the first stage was commenced in March, 1928, and completed at the end of December the following year. Subsequently it was set running

The plant has a daily capacity to treat 4,000 t of shale. It consists of a crushing plant, retorting plant, crude oil distillation plant, paraffin plant, sulphate ammonia crystallizer room, boiler plant, repair shop, etc. The general arrangement of oil shale plant is shown in Figs 7 and 8.

The crushing plant is divided into the first and second crushing rooms; the first room is equipped with two sets of Fair Mount Single Roll crushers, which are able to crush the shale of 8 ft. size into pieces of 6 inch size The second crushers are of the Symon Cone type, and can crush the shale of 6 inch size into a suitable size for distilling purposes, namely, into 2 sq.in. size.

The shale crushed in the second crushers is screened by the shaker system. Shale over 3/8 inches in size is carried up to the bunker of the retort by the bucket elevator, while that of smaller size is directly con-

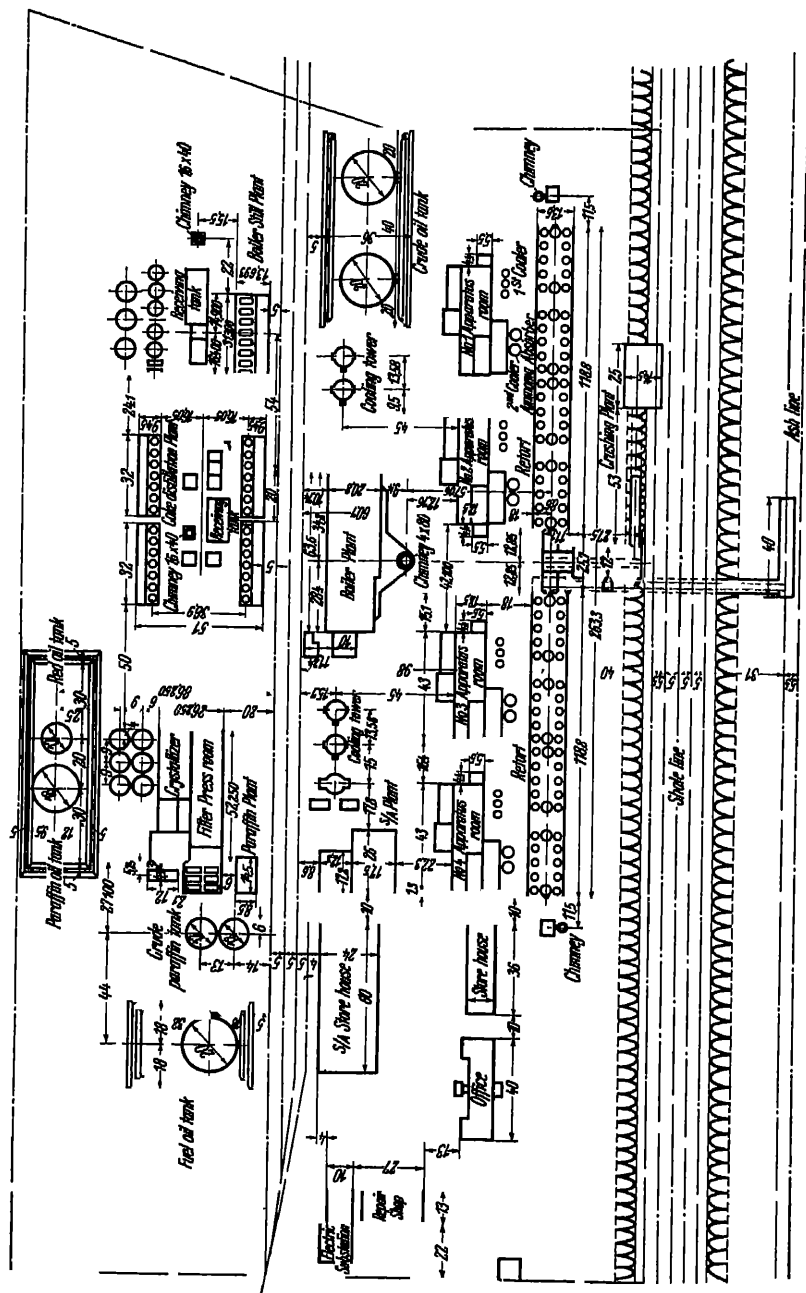



Fig. 7 Ground Elevation of the Fushun Oil Shale Plant

Fig 8.

veyed to the charging hopper to be sent to the coal mines as packing material.

The retorting plant comprises 80 sets of distilling cylinders and gas producers, arranged in two rows with 16 regenerators installed between these rows. That is to say, one pair of regenerators supply 10 sets of distilling cylinders with hot gas.

The whole group of apparatuses is divided into four working units, each provided with gas coolers, crude oil catchers, ammonia absorber and all other necessary accessories.

The crude oil produced in the retorting plant is first stored in the crude oil tank, and then conveyed to the distillation plant.

The distillation plant is equipped with 8 sets of boiler stills, 28 sets of coking stills and other necessary accessories such as crude oil preheaters, distilled oil condensers, etc. These boiler stills, operating under the continuous working system, distill 60% of crude oil.

The remaining pitch-like part is supplied to coking stills by the batch system, where it is distilled down to coke.

The distilled oil, above 300° C (which is in the boiler stills), mixing with the distilled oil from the coking stills, is conveyed to the paraffin extraction plant, where 6 sets of paraffin crystallizers, 10 sets of filter presses, refrigerating apparatuses, etc. (where it may be cooled down to 6° C below zero) are installed.

The distilled oil, under 300° C, that has been produced in the boiler stills, and the oil that has lost the crude paraffin while staying in the filter press, are suitable for fuel oil, and this is sent to Dairen for sale in the market.

The crude paraffin is transported to the paraffin refinery, which has been established in Japan for refining purposes. After it is refined, the pure white paraffin becomes merchandise in the Japanese market.

The quantity of shale used in our Fushun plant, where it is treated in the above-mentioned processes, and of annual products are as follows:

Oil shale treated per year	1,360,000 t
Crude oil produced per year	69,000 t
Sulphate of ammonia recovered per year .	18,200 t
Fuel oil per year	54,000 t
Pitch coke per year	4,800 t
Refined white paraffin (melting point: 56° C)	7,000 t.

Résumé

Les progrès de la civilisation vont de pair avec une demande croissante de combustibles liquides. Le Japon s'efforce de se les procurer à des prix suffisamment bas. Les gisements de schistes bitumineux de Fushun semblent tout indiqués pour être une source d'huiles. Des essais ont été faits et ont été concluants Par la suite, on a procédé industriellement au traitement des schistes pour en extraire des huiles brutes. La distillation de l'huile brute fournit des huiles de chauffage, des huiles lourdes, de la paraffine solide et du coke.

Les schistes bitumineux sont relativement pauvres. Pour en extraire économiquement l'huile brute et le sulfate d'ammoniaque, on se sert d'un appareil de distilla-

tion basé sur le même principe que l'appareil fixé au sommet des générateurs de gaz de houille pour la production de goudrons à basse température.

Pour fournir la chaleur nécessaire à la distillation, on se sert d'une partie des gaz récupérés, une autre partie est consommée dans le réchauffeur.

L'auteur donne différents autres détails concernant l'installation.

Un facteur très important pour le rendement de l'appareil de distillation, est la grandeur des morceaux de schiste. Trop grands, ils demandent un temps trop long pour être chauffés jusqu'au centre, trop petits, ils opposent trop de résistance au passage du gaz, ce qui donne lieu à divers inconvénients. La température dans l'appareil doit être maintenue entre des limites bien déterminées.

La méthode ainsi employée, de chauffage interne de l'appareil de distillation fournit de l'huile, qui, si elle est de qualité moindre, est par contre beaucoup plus abondante.

La gazéification du coke des schistes bitumineux a aussi donné lieu à des recherches actives qui ont conduit à une solution employée à Fushun.

La basse température de fusion des schistes traités donne lieu à des difficultés pour le soufflage, le maintien de la zone de combustion, l'enlèvement des cendres etc. . . . L'auteur donne de nombreuses particularités concernant les régimes de distribution des températures, et des perfectionnements qu'on a réalisés à leur propos.

Le gaz ainsi récupéré sert à divers usages.

L'auteur énumère les différentes opérations que subissent les produits obtenus et décrit les installations employées à cet effet.

Esthonia

Progress in the Treatment of Esthonian Oil Shale

University of Tartu, Math. and Nat. Sc. Section

Prof. P. N. Kogerman and John Roberts

Occurrence and Properties of Esthonian Oil Shale

Occurrence.

The oil shale of Esthonia occurs in the Ordovician System, and covers an area of approximately 2,400 square kilometres, extending from Kadrina, on the west, to beyond Narwa on the east, the Reval — Narwa railway traversing the area

The geology of the area has been dealt with in some detail by several geologists, chiefly, *Bekker*, *Lamansky*, *Kutorga*, *Bonnema*, *Krutikov*,

Fig. 1 Stripped Face at Kohtla Järve.

and others, the first-mentioned having published a notable Memoir[1] on these deposits. Where the oil shale, known as Kukersite, is typically developed, it consists of seven beds, or seams, referred to locally as

[1] "The Kuckers Stage of the Ordovician Rocks of N E. Esthonia", by *Hendrik Bekker*

Fig. 2. Stripped Face at Eesti Kivioli.

the A, B, C, D, E, F, and G seams, respectively, the lowermost being the A seam. The seams are inter-stratified with limestone bands.

A typical section, as developed in the Kohtla area, is shown in Fig 1, while a number of exposures are illustrated in Figs. 2 to 5, showing the open workings at Eesti Kivioli. It will be observed that the deposit has a gentle dip of only about $^1/_4$ degree, and near the outcrop

Fig. 3 Open Pit at Eesti Kivioli

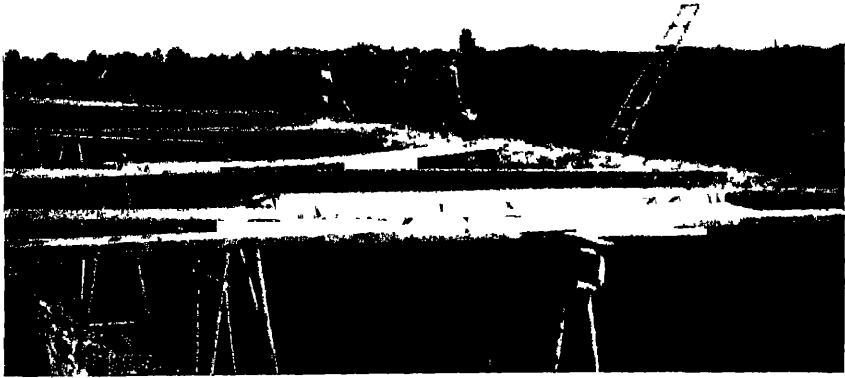



Fig. 4. Stripping Overburden and Upper Seam of Shale at Eesti Kivioli.

is overlain by a few feet of overburden, consisting of a foot or so of peat, and about two feet of moraine soil.

The oil shale varies in colour from light brown to dark brown, is rather soft and easily mined. Its specific gravity varies from 1.2 to 1.8, but is generally about 1 5. It is easily kindled by means of a match, and burns with a smoky flame.

Some of the beds are highly fossiliferous; in Fig. 6 trilobites and bryozoa can be identified.

Fig. 5. Advancing Track at Face. Eesti Kivioli

Fig 6 Fossiliferous Oil Shale

Composition

An average proximate analysis of the oil shale is given in Table 1.

Table 1. Proximate Analyses (percentages)

Condition of Shale	Water	Ash	CO_2	Ash and CO_2	Organic matter	Calorific value cal/kg
Freshly mined . .	18.2	30.0	7 9	37 9	43.4	3000 to 3500
Air-dried . .	1.5	36.1	9.5	45 6	52.9	4200 to 4500

The composition of the organic matter varies within the following limits, in percentages:—

C 76.5—76.7; H 9.1—9.2; N 0.2—0.5; S 1.6—2.2, and O (by diff.) 11.2—12 2. This nearly corresponds to the empirical formula $(C_8H_{11}O)_n$.

The chemical composition of the organic matter of the various seams of Kukersite does not vary much, as will be seen from Table 2.

Table 2 Chemical Composition of Shale Seams (percentages)

Seams	A	B	C	D	E	F
Organic matter in air-dried shale	49 8	51 7	50 2	35 7	51 5	47.5
C	71.5	72.4	71 3	71.1	72.4	71 6
H	8.4	8.7	8.4	8.6	8 5	8.6
O (by diff.)[a] ...	19.9	18.7	20 1	20 0	18 9	19 6
N	0.2	0.2	0 2	0.3	0 2	0.2

[a] Includes also the sulphur

Table 3. Volatile Matter Tests in Shale (percentages)

Seams	A	B	C	D	E	F
Volatile matter at 900° C ...	56.7	60.1	54.2	42.7	56 6	50.4
"Fixed Carbon"	4.8	2 9	6.4	4 3	7.4	9.7
Ash	38.5	37.0	39.4	53 0	36.0	39.9

Oil Yields

The yield of liquid products varies with the nature of the fuel, the method of distillation, and the temperature of treatment. Table 4 shows the variation in the yield at different temperatures, as determined in a silica tube.

Table 4. Distillation of Shale at Various Temperatures

Temp. °C	Oil Yield per cent	Oil Yield gal/t	Gas Yield c ft./t at 0° and 760 mm	Calorific value of oil. B T U.
410	27.1	63,3	1900	—
500	29 7	72.9	2250	17,028
600	30.8	74.8	3000	17,428
700	27 5	65 0	4500	—
900	21 7	49.7	7200	—

Although higher percentage yields of oil have been obtained in the laboratory with other samples of shale, the above can be taken as representative.

Exploitation of Shale

Although Kukersite was first discovered about 140 years ago, it was not until 1916 that, owing to a scarcity of fuel in the Leningrad (then Petrograd) district, it was decided to investigate the possibility of exploiting the shale. After preliminary surveys and tests mining operations were commenced at Kohtla

Work was interrupted during the Bolshevist Revolution and the subsequent German occupation, but in May 1919 the Esthonian Government took over the Kohtla works, which have since been in continuous operation. Later developments were the opening of the Vanamoisa mine by the Esthonian Oil Shale Development Syndicate, Ltd , the exploitation of the shale at Pussi by the Eesti Kivioli Company, and *Estlandska Oljeskifferkonsortiet* at *Sillamägi*. Permits and concessions have since been granted to several other concerns.

Use of Raw Shale

The shale is used somewhat extensively in the raw state, not only in railway locomotives, but also in stationary boiler plants at various factories, chiefly in Tallinn (Reval). In one or two plants the shale is burnt with almost complete absence of smoke, but these cases are exceptions, the combustion of the raw fuel being generally accompanied by the production of volumes of dense black smoke. It goes without

saying that the use of raw shale in this manner should be discontinued at the earliest possible moment. This will come about when sufficient liquid fuel is produced locally on a sufficiently large commercial scale to meet the demands of Esthonian industries.

Commercial and Semi-Commercial Distillation Plants

At present the largest shale distillation plant in operation in Esthonia is that at the State Works at Kohtla. The plant consists of 6 retorts of the producer type, designed by J. Pintsch A.-G., Berlin. At the Pussi mine a retort of the tunnel-kiln type is being employed on a fairly large experimental scale. The "Fusion" type of rotary retort was formerly employed at Vanamoisa, but is not now in operation. Another tunnel-kiln type of retort has been experimented with at Sillamagi by a Swedish group. A modified form of the Scotch retort was operated at Tallinn from 1919 to 1921, but proved unsuccessful.

The yield of oil was 15% with this unit. Plans are now being prepared for the erection of a battery of Davidson rotary retorts to be operated on the concessions held by the New Consolidated Goldfields, Ltd., London.

Fig. 7. Photograph of State Plant at Kohtla Järve.

The Kohtla Plant

A photograph of the Kothla plant is shown on Fig. 7, the retort house being on the left, and the boiler house in the middle distance. The Pintsch retort consists of a vertical cast-iron shaft lined with firebrick Its external diameter is 2 m, and its height 5 m The raw shale is graded to pass through a 4-inch mesh and retained on a 2-inch mesh, this grade having been found the most suitable size for treatment. In all producer-type retorts employed in the treatment of shale and coal careful grading is essential, hence, the practice at Kohtla is no excep-

tion to the rule. A flow sheet of the retorting plant is shown in Fig. 8. The shale is charged through a bell hopper in the usual manner, and then descends by gravity through the producer.

The gases generated in the combustion chamber at the base of the producer enter annular flues at the top of the combustion zone, and pass into the charge undergoing distillation higher up in the retort. These gases, supplemented by cold permanent gas returned from the recovery plant, effect the distillation of the shale. The cold gas reduces the temperature of the combustion products to distillation temperature, namely, about 550° C. The volatile products leave at the top of the

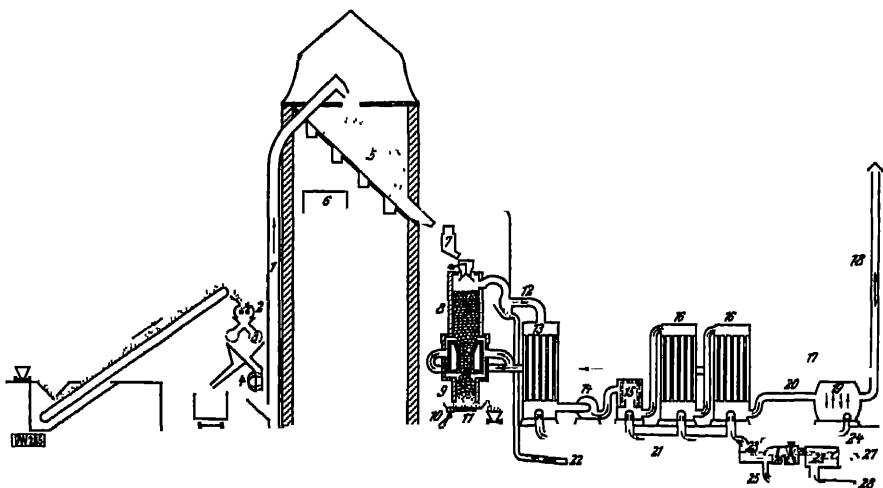



Fig. 8.

retorts, and pass successively through the cooler, exhauster, tar extractor, and condensers to the separating tanks.

Part of the permanent gases is used for firing Babcock and Wilcox boilers, in conjunction with raw shale. The chimney in the centre of Fig. 7 shows that combustion is effected smokelessly, the photograph having been taken while the boilers were steaming.

Properties of Crude Oil from Pintsch Retorts

An average sample of the crude shale-oil has the following properties.

Sp. gravity at 15°	About 1.0
Reaction	Neutral
Moisture	About 1%
Flash point	83° C
Insoluble in benzene	0,3%
Viscosity at 50°	5° E
Sulphur	About 1%
Calorific value	9600 cal/kg

The permanent gases still contain about 20 g of light benzine per m^3 the calorific value of the gases (determined in Junkers calorimeter) being about 1240 cal/m^3.

The Kohtla crude shale-oil contains but very little benzine (motor spirit); the main marketable products being:—

1. *"Motornaphtha"*, or *Diesel oil*, which is obtained from the crude oil by distillation. The distillate is neutralised and the lower boiling constituents removed by steam. The properties of this product are:

Flash point (Pensky-Martens) ..	over 60° C
Viscosity at 50° C	1 0 to 1.3 E
Specific gravity at 15°	0.93 to 0.95
Sulphur	About 0.9%
Coke (crucible-test)	3 to 4%
Calorific value	9,700 to 10,000 cal/kg

Distillation Test·—

Up to 200° C	5 to 8%
200 ,, 250° C	15 ,, 20%
250 ,, 300° C	20 ,, 30%
300 ,, 360° C	30 ,, 40%

The oil was tested at Sodertalje (Sweden) in a 15 HP-motor (Type D PS) giving 500 revolutions p min The results were satisfactory

2. *Lubricating oil* fractions have not been produced so far on a large scale, although good lubricating oils have been obtained on a laboratory scale.

3. *Pitch* is the distillation residue of the crude oil, and has a melting point of 70 to 90° C. The properties of this product are dependent on the method of distillation

As the crude oil is subjected at present to "air-blowing" to produce three grades of heavy oils and five grades of *bitumen*, or blown asphalts, the pitch is no longer a marketable product.

4. *Estobitumen* A, B, C, D, and E The blowing of the oil is carried out in stills of 8 to 10 t capacity. The hot bitumen is passed into special tanks from which (before solidifying) it is poured into barrels.

On blowing, about 10% of the crude oil is obtained as distillate, and about 80% forms bitumen.

Properties of Estobitumens, A, B, C, D and E.

Melting points (Kraemer-Sarnow)	18 to 65° C
Specific gravities	1.07 to 1 09
Solubility in CS_2	98 5 to 99.5%
,, ,, CCl_4	98 to 99%
Sulphur	0.9%
Mineral ash	0 3 to 0.5%
Flash points	180 to 220° C
Coke	25 to 35%

The estobitumens A, B, C are used in road making as surfacing tars and asphalt mastic. The products which have higher melting points

are used in the manufacture of roofing felt. Some other products are also manufactured from bitumen

5 *Phenolate* is obtained from crude oil by treating the oil with 5 to 10% caustic soda solution. The phenolate is used as a disinfectant, and for the preservation of timber and railway sleepers

The Eesti Patendi A/S System

This system is employed by the Eesti Kivioli Company at Pussi, the unit having been designed to treat 50 t of raw shale per 24h, but it has proved capable of treating 70 t per day The tunnel kiln is

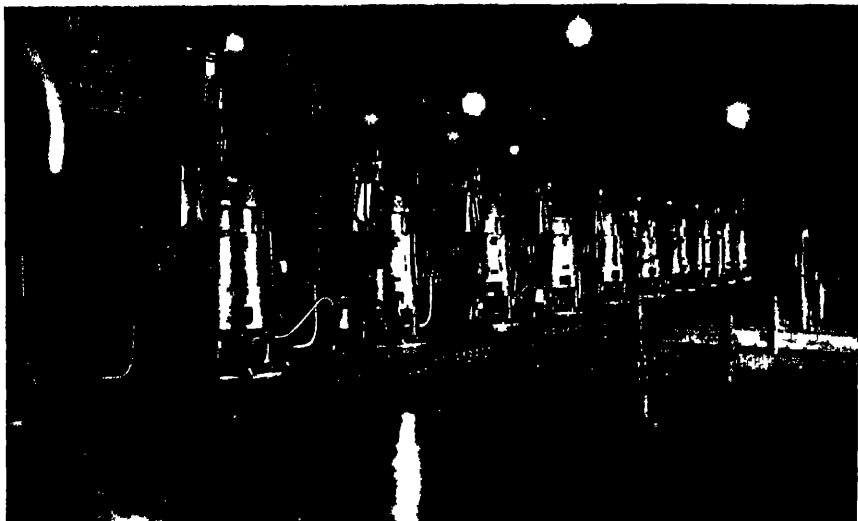



Fig 9. Circulating Fans and Control Platform Eesti Patendi Retort.

rectangular in area, so dimensioned as to allow the free passage through it of a tub, or tram, holding 680 kg of shale. Its length is 25 m, and it accommodates 20 tubs at one time, the tubs being distributed as follows: 5 in preheating chamber, 12 in carbonising section, 3 in the cooling chamber, where the carbonised shale is quenched in water. Each compartment of the tunnel is sealed by means of hydraulically-operated doors, controlled electrically from a control platform, shown in Fig 9, which also shows the circulating fans, which will be referred to presently

The steel tubs are of rectangular form, as shown in Figs 10 and 11, and provided at the bottom with a short flanged pipe The shale rests on a false bottom, or grid, perforated to allow the passage of volatile matter Shale from $^1/_2''$ to $4''$ is filled into the tub, on the top of which a wire net is placed.

During distillation the volatile matters expelled from the shale are circulated over and over again through the charge in each tub To

achieve this object there are provided at regular intervals along the tunnel flanged pipes of the same diameter as those on the tubs. At each position in the retort the tub rests immediately above the circulation pipe and below an electrically-driven circulating fan The volatiles are drawn by means of the fan through it, and forced through a hori-

Fig. 10. Underside of Steel Tub.

zontal duct leading to a distribution channel above vertical reheater tubes, which are located in a combustion chamber running alongside the retort. See Fig. 12, *a*, *b* and *c*. Passing through the reheater tubes the gases then enter a horizontal duct at the bottom, leading to the flanged pipe within the retort and below the tub.

Fig. 11. Interior of Tub, Showing Grid or False Bottom

After a period of 12 to 14 min. each tub is moved forward one stage, a spent charge being withdrawn from the cooling chamber, and a fresh charge put into the retort.

The unit was subjected to a 14-day test by the authors in the summer of 1929, when just over 70 t of shale per day was successfully treated. At that time the furnace was fired partly with gas and partly with crude oil. A view of the retort house is shown in Fig. 13.

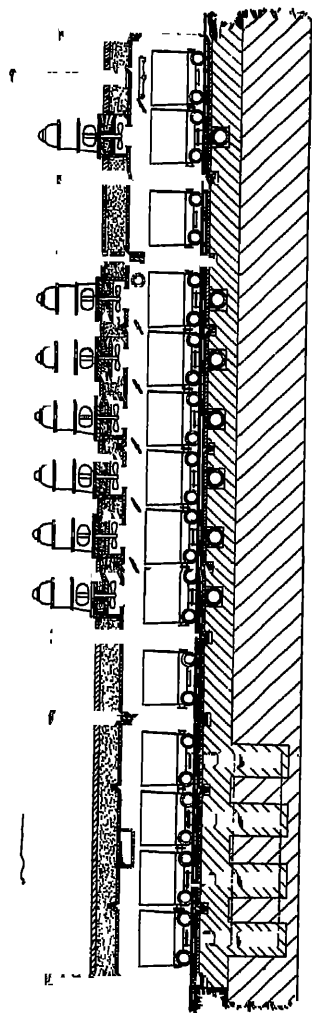
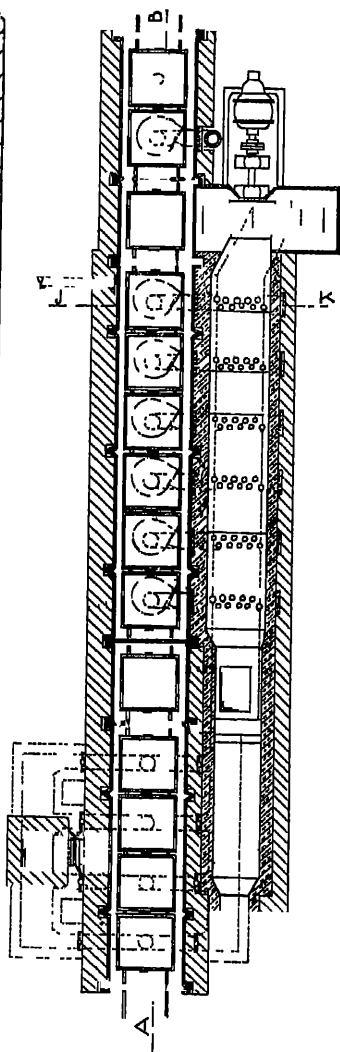
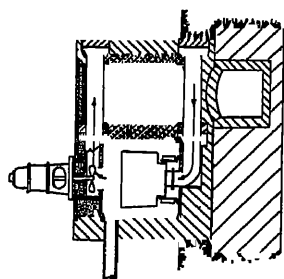



Fig. 12, *a*, *b* and *c*

Fig 13 View of Retort-House, Eesti Patendi Plant

Condensation and Separation of Products.

From the retort the vapours and fixed gases pass into the vapour main, which conducts the vapours to the air-cooled vertical condensers. The atmospheric condensers have sufficient cooling surface to separate from the vapours and fixed gases the heavy and medium oils[3]. The vapours of light oils (including benzine) and gases pass further to the water-cooled condensers, where some "medium oil" and light oils are condensed. The gases passing from the condensers still contain small quantities of light hydro-carbons (gas-benzine) not removed by the condensers. In order to separate these, the gases are passed into pipes, which are surrounded by a freezing mixture ("refrigerator").

Properties of Oils from Eesti Patendi Retort

1. *Mixture of Heavy and Medium Oils.*

Specific gravity at 15° C	1.01
Viscosity at 50°	7.0° to 7.8° E
Insoluble in normal benzine	About 10%
Mineral substances	0.01 to 0.02%
Moisture	6 4%

Engler Distillation

Up to 200°	1 0 to 2.0%
200 ,, 300°	16 to 17%
300 ,, 360°	44 to 52%

2. *Light Oil:—*

Specific gravity at 15° C	0.830
Sulphur	0 90%
Phenols	About 6.5%
Unsaturated compounds	About 30%

[3] This mixture of heavy and medium oils forms about 77% of the total bulk of the oil

Engler Distillation

IBP	64° C
Up to 100°	2.0 to 3.0%
100 ,, 125°	8.0 ,, 10 0%
125 ,, 150°	13.0 ,, 15.0%
150 ,, 185°	17 0 ,, 23.0%
185 ,, 200°	7.6 ,, 8 8%
200 ,, 220°	10 4 ,, 12.0%
Residue (above 220°)	About 33%

3. *Crude benzine (gasoline)*, gas benzine not included.

Specific gravity at 15°	0.767 to 0.770
Sulphur	0 72 ,, 0.74%
Unsaturated compounds	About 28%

Engler Distillation

IBP	48° C
Up to 100°	21 5 to 25.3%
100 ,, 125°	21.7 ,, 23.8%
125 ,, 150°	18.8 ,, 19.4%
150 ,, 185°	15.0 ,, 16.0%
185 ,, 200°	4.3 ,, 4.6%
200 ,, 220°	5.4 ,, 5 6%

The Davidson Rotary Retort

Principles of Design. The aims of T. M. Davidson, the designer of this retort, have been to ensure continuous operation with low power consumption, ease of operation with minimum labour, the prevention of scale formation within the retort, the avoidance of cracking of the volatile products, and the utilisation of the sensible heat and the combustible matter in the shale residue after distillation for carrying out the distillation process, the heat derived from the residue being supplemented by stripped gas returned from the recovery plant.

A retort embodying these principles was erected at Colchester, England, in co-operation with the New Consolidated Goldfields Ltd, London. Other processes had previously been closely investigated by this Company, with a view to the treatment of Esthonian shale on a commercial scale.

Description. The Davidson retort Fig. 14, consists of a rotary steel tube *A*, 50 feet long, and 4 feet diameter, rotated at a speed of 1 revolution in $1^1/_2$ min. The retort has an incline of 0.8% The tube is externally heated, the temperatures in the heating flues being maintained at about 590° C. The interior of the retort is fitted with scrapers, which prevent the accumulation of scale, and keep the inner side of the shell clear The shale is fed from the bunker *B* through the inlet *C*, the feed being continuous and automatic In its passage through the tube the temperature of the shale is progressively raised until a final temperature of about 480° C is reached. As the retort rotates under

load, the shale is turned over 200 or 300 times, and travels a distance of a few thousand feet over the retort shell

Meanwhile, the volatile products are withdrawn through an offtake tube *D*, and pass into a dust catcher situated near the discharge end

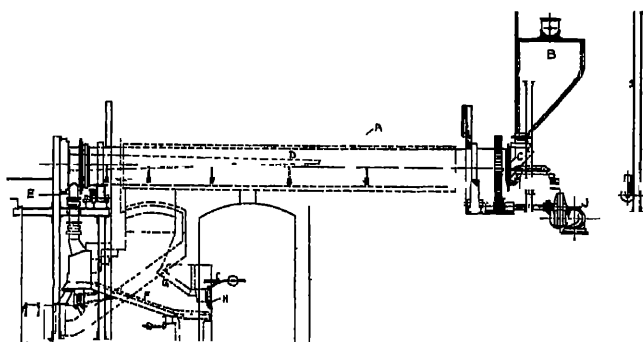



Fig 14. The Davidson Rotary Retort

of the retort, see Fig. 15. The hot residue is discharged into a duct *E*, in which are fitted two hydraulically-operated knife valves to regulate the feed into the heating furnace *F*, on the step grate of which the residue

Fig 15 View of Discharge End of Davidson Retort

is burnt. The grate is mechanically operated. To supplement the heat obtained from the residue, stripped gas is introduced at the back of the furnace arch at *G*, secondary air being admitted through the balanced

curtain H, below which the ashes are discharged. The motor for driving the retort and the scraper gear is shown at J.

Operating Results. The retort erected at Colchester, working on Esthonian oil shale, was operated under test conditions for a period of 14 days under the supervision of one of the authors This test run proved quite successful, very satisfactory yields of oil being obtained, the retort working quite smoothly, with a low power consumption, and a minimum of manual labour The heats were easily maintained with the Davidson furnace in operation, without the aid of outside fuel, and combustion was complete and effected smokelessly, as evidenced by the chimney in the photographs, Figs. 15 and 16, which were taken while the retort was distilling shale

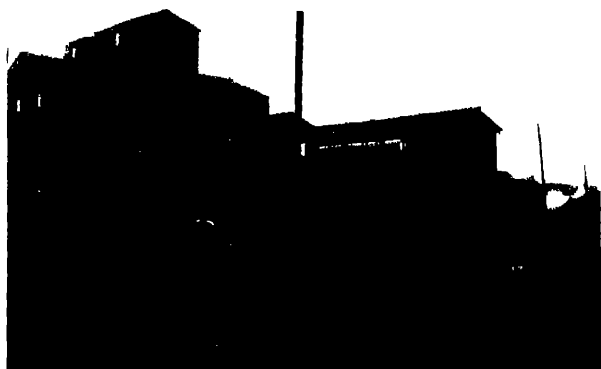



Fig. 16. View of Davidson Demonstration Rotary Retorting Plant.

Preparations are now being made for the erection in Esthonia of a number of these retorts forming a 250-ton unit. This development is being undertaken by The New Consolidated Gold Fields Ltd. The new retorts will be 75 feet in length, and will incorporate a preheating section at the feed end.

Shale Oil from Davidson Retort. The following is an Engler distillation of an average sample of oil obtained during the test run on dry shale in the Davidson retort, September, 1929.

Moisture	0.8%
Spec. grav.	0 9398 @ 18° C
Phenols	30.66% by vol.
Unsaturated hydrocarbons (with H_2SO_4, density 1.84)	68.93% ,, ,,
Insoluble in normal benzine about ...	5%
Flash point	about 14° C

Engler Distillation

		Spec. Grav. @ 18° C
Up to 150° C	8.07 grams	0.7483
150 „ 175	4.96 „	0.7927
175 „ 200	3.82 „	0 8179
200 „ 225	4.05 „	0.8454
225 „ 250° C	5 24 grams	0 8739
250 „ 275	6.27 „	0.9056
275 „ 300	7.66 „	0 9371

Another sample of the crude oil was steam distilled up to 200° C. The steam carried over 30.1% by volume. The crude shale oil is thus seen to be of a very high standard of quality.

The Gröndal Retort

This retort, which is operated at Sillamagi by the Estlandska Oljeskifferkonsortiet, is also of the tunnel-kiln type, and the principles of operation are somewhat similar to those employed by the Eesti Patendi Company. The tubs are shallower, but of larger sectional area than in the case of the latter plant. The unit at Sillamagi has a capacity of about 250 t of shale per day.

The Crude Shale Oil as a Substitute for Well Petroleum and as a Source of Raw Materials for Chemical Industry

The crude shale oil must not be regarded merely as a substitute for well-oil, but also as a source of raw materials for manufacturing chemical products.

As regards the oils produced from the crude shale oil, i.e., motor spirit or gasoline, kerosene (lamp oil), lubricating oils, etc., they will compete with the products from natural petroleum. The shale petrol or benzine used in Esthonia is of high quality, it has a high compression ratio and good anti-knock properties Two heavy fractions from the Davidson Retort were tested at the National Physical Laboratory, Teddington, and found to possess good lubricating properties.

The "heavy benzine" produced by distillation of light oil at *Eesti Patendi* Company's plant is sold to Czecho-Slovakia, where it is used as a good denaturant for alcohol

The so-called phenolic bodies of Esthonian shale oil are used at present for impregnating timber. The laboratory researches have proved that certain fractions of these phenols are suitable for manufacturing Bakelite products. Undoubtedly, there are other possibilities for the utilisation of some constituents of shale oil which do not occur in the well oil.

Zusammenfassung

In den letzten Jahren macht sich eine lebhafte technische Ausnutzung des Brennschiefers bemerkbar Besonders zur Destillation des estnischen Brennschiefers, der sich durch hohen Ölgehalt auszeichnet, sind mehrere Retorten konstruiert; es gesellen sich zu der fruheren von Pintsch konstruierten Generatorretorte,

welche in Kohtla angewandt wird, noch einige neue Schwelanlagen, von denen folgende nennenswert wären:

1. Der Kanalofen mit Innenheizung der Estnischen Patent-Aktiengesellschaft (Kulschinskysche oder M S.K -Retorte). Diese horizontale Retorte, deren Durchschnitt rechteckig ist, ist durch Schieber in drei Sektionen geteilt. in eine Trockenkammer, die 5 Wagen faßt, eine Destillationskammer fur 12 Wagen und eine 3 Wagen fassende Kuhlabteilung. Der Retorte parallel läuft der Heizkanal, an dessen einem Ende sich die Feuerung befindet. Im Heizkanal sind die sog. „Überheizer" untergebracht Die Destillationsgase werden mit Hilfe besonderer Ventilatoren durch den „Überheizer" geleitet und dann aufs neue durch die Brennschieferschicht usw., so daß somit die Destillations- und Öldämpfe einen langen Spiralweg zu durchlaufen haben, ehe sie in die Kühler gelangen können Die Öldämpfe werden anfangs durch Luftkuhler gekühlt, in denen zuerst das Schwer- und zum Teil das Mittelol sich kondensiert, späterhin in Wasserkühlern, wo sich von Stufe zu Stufe das Mittel- und Leichtol mitsamt dem Benzin kondensiert. Das aus den Kuhlern entweichende Gas enthält noch Gasbenzin.

2. Ungefähr nach demselben Prinzip arbeitet auch die Gröndal-Carlson-Zeidlersche Retorte des Estländischen Ölschieferkonsortiums. Die Schieber schließen hier nicht so dicht ab wie bei der Kulschinskyschen Retorte; die Wagen sind flach gebaut, von pfannenähnlicher Form, und die Überheizer sind unmittelbar unterhalb der Retorte untergebracht. Die Leistung dieser Retorte betragt ca 250 t/Tag.

3 Gegenwärtig beginnt man in Estland ein neues Destillationsunternehmen ins Leben zu rufen, wobei beabsichtigt ist, daselbst eine T M. Davidsonsche horizontale, rotierende Retorte mit Außenheizung aufzustellen. Diese Ofenbauart hat sich durch in England, in Colchester gemachte ausgiebige Versuche bewährt, wobei die Retorte 20 bis 25 t Ölschiefer täglich durchsetzte. Das Anbacken des Brennschiefers an den Wänden der Retorte wird hier durch einen besonders konstruierten „Schaber" („scraper") verhindert

Das spezifische Gewicht des aus der Davidsonschen Retorte erhaltenen Öles ist kleiner als dasjenige der Öle, die aus Retorten mit Innenheizung erhalten sind, während aber der Benzingehalt im Rohöl der Davidsonschen Retorte recht erheblich ist.

Das Brennschieferöl laßt sich nicht als einfacher Ersatz fur Erdöl betrachten, da sich in ihm viele Verbindungen finden, die dem Erdol gänzlich fehlen und die sich als Rohprodukt fur die chemische Industrie sehr gut eignen.

Great Britain

Methods of Utilising, for Power Purposes, the Various Petroleum Residuals and By-Products

Institution of Petroleum Technologists

Dr. A. E. Dunstan

The chief refinery by-products are.

1 Acid sludge,
2 Petroleum coke,
3. Asphalt residues (not suitable for normal use),
4. Waste gases.

The problem of the utilization of refinery by and waste products has only attained real prominence in the last decade, and is due to economic factors.

Before this time the by-products which are now discussed were disposed of in the simplest possible manner.

1. Acid Sludge produced by the sulphuric acid treatment of lubricating oils and kerosene has been a refining difficulty since the inception of the industry owing to the extreme difficulty in dealing with the large quantities produced and the highly corrosive nature of the material.

Before economic factors made the utilisation of this waste product almost a necessity in helping to reduce general refining costs the problem was simply that of disposal.

The chief methods used to dispose of it were the dumping of it in pits where it accumulated, or emptying of it into rivers, streams or the sea.

River and water pollution obviously reduces the scope for the last two methods

2 Petroleum coke is produced by the destructive distillation of petroleum products and is obtained whenever these products are heated above their decomposition temperatures. The main sources of petroleum coke are coking stills and cracking units.

3. Asphalt residues, this refers to those particular residues which are not suited to the normal uses of this product, such as bituminous material for road making etc.

4 Waste gases, obtained in the production and refining of petroleum

The petroleum industry to-day is continuously striving to reduce production costs, and therefore the utilisation of all products from the refinery is becoming more and more important. It is this change that

has caused refiners to investigate the possibilities of the use of these hitherto waste products for a variety of purposes.

Acid Sludge

This is not a subject on which one can make definite statements, as there are so many variable factors to be considered To mention a few; the acid sludge is different in every refinery, due 1. to the difference in the oils refined, 2. the concentration of the acid and 3. to the quantity of acid used. Separate groups of sludge can be differentiated which are materially different in their composition, and which are dealt with in different ways These are:

1. Sludges obtained from lubricating oils and other heavy petroleum distillates.
2. Sludges obtained from benzines and kerosines.

There are in addition sludges produced by other refining methods. Furthermore, there are very obviously at least two general lines to work on in attempting to utilize this product i. e.:

A. *Recovering the acid from the sludge and reconcentration.*

B. *Finding a use for the acid sludge as produced.*

Both of these basic lines of attack have received considerable attention in the past and both are in extensive and growing use to-day.

Historical

One has to go a long way back into the history of refining to get the first indication of the commencement of the long struggle with the product. Suffice it to say that in 1859 the subject was of sufficient importance for *Henry Pemberton* to take out a patent (U. S. 24952) for the treatment of acid sludge. The process consisted of·

1. A preliminary heating to obtain a separation of the free sour oil.
2. Agitation of the acid-sludge residue with hot water and steam.
3. Separation of weak acid and tar.
4. Recovery of the weak acid by evaporation in pans.

It is of interest to note that this patent, though so old has been the basis of a very large proportion of the patents which have followed it on this subject.

Bower, in 1880, recovered sulphuric acid by washing the sludge with water in covered tanks and mechanically separating the acid solution from the carbonaceous matter and oily ingredients. *Breinig* in 1884, mixed with the sludge a soap compound adapted to unite with the tar and separated the free acid from the tarry mass. *J. L. Gray*, in 1909, claimed the production of pitch and asphalt from petroleum sludge by digestion with water, steam, or dilute acid recovered from the sludge, until the major portion of the acid had been recovered. The tar, comparatively free from acid, was heated with a steam spray until the mass was converted into pitch Another of *Gray*'s patents covered a process in which the acid sludge was digested with water, air and steam, until the light constituents rose to the top. These were drawn off, and the

digestion continued. A heavy residuum was drawn off from the bottom of the separator, and the weak acid finally separated.

Schildhaus and *Condra*, in 1910, heated acid sludge to 200 to 300° C (392 to 572° F) and at the same time introduced air into the retort at about the same temperature. The liquid hydrocarbons were distilled and condensed, and the gases, consisting largely of sulphur dioxide, were washed first with heavy hydrocarbon oil and finally with sulphuric acid.

Van Tienen, in 1911, appears to have been among the earlier inventors making use of both heat and pressure for sludge separation. He recovered hydrocarbons and sulphuric acid from sludge by mixing sufficient water with it to dilute the acid to 52° Bé, and heating the mixture to a temperature of 140 to 165° C (284 to 329° F) at a pressure of about 100 lbs./sq inch. The liquid was separated into two layers, one containing sulphuric acid and the other containing tar.

Early refinery practice, and the majority of the earlier patents dealt only with the acid separation from the sludge, few of them covered the reconcentration of the acid.

It is of interest to note, however, that *Loftus* in 1864 and *Penissant* in 1878 described methods for concentrating the separated acid.

Gronsilliers, in 1888, added sodium sulphate to the separated acid and the bisulphate was precipitated by boiling and evaporating. The precipitate was dried and the acid recovered by heating at a moderate red heat. *Waring* and *Breckenridge* mixed about 4% of sodium nitrate with sludge acid at a temperature between 60 and 180° F (15 5 to 82.2° C) to purify it and permit the recovery of the sulphuric acid. A foreign patent of interest is that of the Steaua Romana Petroleum G. m. b H., in which the separated black acid was allowed to flow continuously into pure boiling concentrated sulphuric acid in the presence of an oxidizing current of air, the evolved acid vapours then being condensed and reconcentrated in standard apparatus.

Acid Separation and Reconcentration

When it is realised that the weak separated acid can now be concentrated to 61 to 62 gravity on a commercial scale at a cost of less than $ 5.00 per ton it is clear that recovery of the acid from the sludge is important.

Unfortunately there are several factors which the refiner meets in attempting to use this method, the chief of which is corrosion which will be dealt with in greater detail later; further the acid sludge produced is generally viscous causing considerable difficulty in separating the sludge and water into layers. The acid cannot in the majority of cases be removed from the sludge except by repeated boiling with water, it is then obtained in such a state of dilution which makes its recovery not the simple matter that might be indicated by the above.

In the first two decades of this century the common practice in sludge acid concentration, consisted in concentrating to 60° Bé in lead pans, and finishing to 66° Bé in cast iron pans or glass retorts The lead

concentrating pans commonly employed varied considerably in size in the different plants. According to *Day*, units 5 feet wide by 50 feet long and 10 inches deep, as well as a series of shorter pans of the same width (15 to 20 feet long) were not uncommon. Such pans were generally constructed of 10 lbs. chemical lead, and supported by perforated cast iron plates laid over the furnace flues. Heat for concentration was frequently supplied by combustion of the separated oil.

The acid left the last compartment of the pan, or the last pan of the series at about 60 to 62° Bé, and passed to a series of two cast iron pans, or "stills", generally about 4 feet by 8 feet by 10 inches deep, provided with hoods lined with acid-resisting material, leaving the end pan at a temperature of about 450° F (232.2° C) and a gravity of about 66° Bé. The vapours were usually condensed in a scrubber and the weak acid returned to the system. Corrosion makes the life of these coatings very short, averaging in one western plant about six weeks, and failure of the pans frequently results in the loss of appreciable percentages of acid

Slight improvement in this matter was obtained by passing air through the acid also by the use of glass and silica, and by substituting cascade systems for the pans. The last decade has seen a great decline in this method of acid sludge concentration, and though there are probably many such plants still in use, corrosion is too great a factor to encourage their more extensive use.

In the Chemico process, a mixture of hot air and flue gases are passed through the acid to be concentrated and a considerably lower temperature can be used than that required for the pan concentration method

Advantages claimed are that heat transfer is better, fuel costs being correspondingly lower, operating costs including fuel, labour, general expenses and repairs, losses and royalty, is said to be fully 50% less than with the pan and still system.

Another method of concentration which has come to the fore considerably in recent years in America, is the Simonson-Mantius process, which is based on vacuum distillation, with its known advantages.

A still more recent development is the Geyser system. This process resembles the Chemico process in that hot flue gases are used to supply the heat needed for evaporation of the water, but differs from it in that the evaporation is accomplished by blowing the flue gases across the surface of the liquid, which is kept in a violent state of ebullition by means of an independent stream of air.

The Chemico and Vacuum processes are two-stage systems in which the first concentration is to 60 to 62° Bé, and the final concentration to 66° Bé. The Geyser system is a one-stage process.

These are general methods but as has been mentioned, the variety of the sludges produced at various refineries necessitates special processes or alterations.

For example acid sludge from cylinder stock is in many cases not easily separated in the ordinary type of "cooking" kettle. The sludge

being heavier than the water sinks to the bottom, and cannot be completely agitated with the water. Dependent on the nature of the acid sludge a large or small number of lumps are left, and in some cases there is unavoidable caking.

The water used in the process hydrolyzes the sulphonates and removes the acid from the surface of the lumps or cakes, thus "coking" the surface. In this manner no separation takes place in the lumps or cake.

The method of separating acid sludges under high temperatures and pressures cannot be used with most cylinder stock sludges as by this process the sludge is simply coked hard to a non-fusible mass and owing to it being heavier than the separated acid cannot be withdrawn from the separator.

To illustrate the individual methods used and necessary at different refineries with different requirements, there follows a short account of the procedure at one American refinery producing approximately 100 t of acid sludge per day.

The initial sludge is termed green sludge, owing to the fact that it contains sufficient oil to give it a green cast The green sludge is separated in lead lined open cooking kettles. The success of the subsequent operations at this refinery depend first upon the use of light oil acid sludge with water to give a weak acid of sufficient gravity to float the green sludge at the start of the separation; and second, upon the use of sufficient acid oil from a previous treat, along with some fresh slop oil or gas oil, to extract the oil content of the sludge

The light oil sludge is that resulting from the treating of Dubbs Pressure Distillate and is about 45° Bé gravity (heavy) and contains about 58% sulphuric acid The solvent oil used may be any oil having a gravity sufficiently high to obtain separation.

The steps in the separation of the cylinder stock sludge are:

1. 120 barrels of acid oil or "Top" oil are left in the kettle from the previous run, to act as a solvent to thin the heavy green sludge as it is drawn into the kettle.

2 Thirty five barrels of light oil sludge are charged to the kettle.

3. About 100 barrels of hot water are added, the quantity being sufficient to separate the light oil sludge into a weak acid of 24° Bé (heavy) gravity which is heavy enough to float the green sludge. This step completes the preparation of the kettle for the receipt of the green sludge. The preliminary steps require about one hour

4. The green sludge is then gravitated from the agitator into the kettle A batch uses 235 bbl. of sludge. The draw takes about two hours, and during this period live steam is used in the kettle to agitate and heat the mass.

5 About 175 bbl of solvent oil are then pumped in, about one hour being required.

6. An additional 85 bbl of hot water are added over a period of one hour. During all of this time, the kettle is cooking with steam, the total cooking time being four to four and one-half hours.

7. After the final water is added, the steam is cut off and the contents of the kettle allowed to settle for three hours. Three layers are formed, a bottom layer of about 150 bbl. of 24° Bé. Acid, a middle layer of so-called "wet sludge" and a top layer of about 400 bbl. of top oil. The acid layer is drawn off.

8. The kettle is again cooked up with live steam, the contents being thoroughly agitated for ten minutes The mass is allowed to settle for $1^1/_2$ hours and a second acid draw is made, 70 to 90 bbl. being obtained. If the separation is not good, several re-cookings may be necessary.

9. With all the weak acid separated and drawn, the middle "wet sludge" layer is drawn to the acid pit where the remaining weak acid can drain off.

10. About 285 bbl. of top oil are pumped out, leaving 129 bbl. in for the next run.

A typical run on a cylinder stock sludge kettle is outlined in Table 1 giving the actual acid and oil recovered.

Table 1.

Charge	Kettle No 2		Batch No. 300
	BBls	*Gravity*	*Acid Content*
Top Oil	120	21.5 A.P.I.	
Light Oil Sludge	35	50.1 Bé	12460 lbs.
Green Sludge	250		19849 „
Solvent Oil	175		
Water	185		
Total Acid in Charge			32309 lbs.
Recovered			
1st Weak Acid	147	24.5 Bé	17520 lbs.
2nd Weak Acid	77	24 5 Bé	9310 „
Total Acid Reclaimed			26830 lbs
Per cent Acid Reclaimed			83%
Wet Sludge	111	(6.4% acid)	2675 lbs.
		Carried Fwd.	29505 lbs.
Fuel Oil	285	21.7 A P.I	180 „
Top Oil (left in)	120	21.7gr A.P I	
Total Acid Accounted for			29685 lbs.
Per cent Acid Accounted for			92%

The weak acid is concentrated in a vacuum evaporator system, to 63 to 64.3° Bé. This is blended with purchased fuming acid (104% H_2SO_4) to make 93.5% acid.

This process with its length of detail should serve to indicate the individual methods necessary and employed to meet individual refinery cases if dealing with this subject, and it should be noted that this refinery process is rather different from those that have been already referred to, it is derived from the process formulated almost simultaneously by *Smitz* and *Seidenschnur*, who stated that the organic constituents of ordinary acid sludge, which are only slightly soluble in

benzine and similar solvents, are easily absorbed by solvents such as the middle and heavy oils obtained from the distillation of crudes and tars. The addition of these oils as solvents enables them to unite with the organic bodies present and separates out the acid in a very much greater strength than would be obtained by water separation

Acid Sludge obtained from the refining of Kerosines and similar light distillates with Sulphuric Acid

This sludge is visibly different from the sludge obtained from refining lubricating oils insomuch as it is a much lighter, more fluid liquid, usually black in appearance, of a "tarish" nature and with a pungent acid smell. On dilution with water it separates fairly easily into several layers. The lower being composed of acid of dark colour, this latter characteristic being caused by the organic substances held in it. The upper layer consists of a liquid resinous substance which is the polymerised and sulphonated product of the mixture of the original spirit and sulphuric acid. There is also a definite middle layer of sulphuric acid esters, and sulphonic acids which can be removed by water washing. Further, there are in many cases intermediate layers between these definite layers.

It will be seen that the sulphuric acid can be reasonably easily removed by the addition of water, and on separation can then of course be reconcentrated by evaporation.

The word "reasonably" is used because the acid separated by water contains in solution, besides sulphonic acids and salts of nitrogenous base, a considerable amount of tarry bases, which on the evaporation of the acid separate out and must be continually removed.

This separation is never complete, a quantity of tarry substances are at the conclusion of the separation left in the solution, they usually serve to give the acid a dark colour. Oxidation of these compounds naturally occurs in the concentration of the acid accompanied by the liberation of Sulphur dioxide.

Actually the acid on initial separation has to be further diluted with water a number of times and after each dilution a further deposition of tarry substances will occur.

The resultant dilute acid is always dark usually black in fact, and in this form finds but little use in the hands of the refiner.

It can, however, be made pure if the black acid is concentrated to a fairly high strength and then mixed with pure sulphuric acid, allowed to flow into heating vessels in the presence of a flow of air and subjected to a temperature of round 300°

Little use has so far been found for the organic part of the acid sludge. One use and least of interest is that of using this tarry substance after treatment for the production of artificial asphalt, and when this operation is made without the use of air an elastic substance is formed.

The sulphonic acids which have been referred to are in some cases themselves extracted and used for a variety of industrial purposes

Utilisation of the Acid Sludge as it is Produced

The production of acid sludge is increasing, and will probably further increase The methods of utilization that have been mentioned do not absorb in the majority of cases anything like the amount produced. For example, one well known American refiner asked how much sludge he had on stock gave his answer in acres.

Most of the known methods of utilisation necessitate movement of the sludge, here, as has been previously remarked, corrosion is a very big and often limiting factor. Against the value of the final by-product obtained must be offset the prime cost and cost of repairs to conveying machinery and labour involved.

There has only been one efficient form of utilisation found under these circumstances, and that is use as fuel.

The acid sludge as produced cannot naturally be used as direct fuel owing to its high acid content It can however be mixed in varying proportion with fuel oil and then in this fluxed state is a reasonably satisfactory burning fuel though it suffers from many disadvantages which will be dealt with at greater length later

Here again there is a wide variance in method used in different refineries, though basically they are the same.

As every refinery utilises heat in varying amount, the ability to use this hitherto waste product as a fuel is an economic factor of considerable importance The disadvantages that offset at first sight the apparent economic advantages are firstly corrosion, secondly unless the sludge can be used with the minimum of movement it is necessary to neutralise it to cut down corrosion losses. If, however, neutralisation is necessary it naturally increases the cost as agitators or mixers are necessary and furthermore the resultant fuel product has a considerably higher ash content and is therefore not so satisfactory. When the acid sludge is fluxed direct with fuel oil or other distillate it is a reasonably good fuel particularly so owing to its low ash content.

One or two refinery processes in brief should be of interest

At one American refinery the Bright Stock acid tar is drawn off, strained and then pumped to the top of the mixing tanks Here it is mixed with fuel oil and heated by coils to about 100° F is afterwards agitated in a specially designed plant, made to cover the variance in the nature of the sludge received i. e from a mobile liquid in summer to that of a very viscous product in winter. The mixture is then withdrawn from the tank and pumped to a sloping supply tank, heated underneath by steam coils. This last tank delivers it at a temperature of 100° F to the air-oil burning system used, the flow being regulated by a control valve.

Another refinery process is as follows: Two kettles which were formerly used as Acid Separators in an acid recovery system, were rehabilitated for use in the sludge fluxing process They have a capacity of 250 bbl. are 26 ft. 6 in in diameter at the top and taper to 22 ft. 6 in at a distance 9 ft. 6 in below the top. From this point a 30° cone

serves as the bottom of the kettle. The kettles are equipped with coils through which steam or air can be admitted for purposes of agitation. Steam and air may also be admitted through a suction line. The sludge acid from the cylinder stock is divided into two equal dumps and two batches of sludge are fluxed in separate kettles. To start the process a quantity of 13 to 15 gravity fuel oil equal to the amount of sludge, is pumped into the kettle and agitation started by admitting air through the suction line entering the bottom of the kettle.

Practice has shown that the temperature of the fuel oil should not exceed 120° F (49° C) to obtain best results The cylinder stock is treated at a temperature of 160° F (71° C) and the sludge formed from the first dump of acid is pumped into the kettle through strainers at the top of the kettle. These strainers consist of short 12 in. pipe with welded bottom plates which are perforated with 1/4 in. holes They are equipped with steam connections so that they may be steamed in case they become plugged up. The strainers aid in breaking up and disintegrating the sludge mass. While the sludge is being pumped into the kettle the contents are kept well agitated by means of air introduced at the bottom of the kettle. This eliminates the possibility of the sludge falling to the bottom of the kettle and forming a hard mass which would be difficult to work off. When all the sludge, about 125 barrels, has been transferred to the kettle, air is introduced through a line extending over the top and into coils which are installed on the inside walls of the kettle Introduction of air through these coils gives the contents of the kettle the necessary agitation and during this agitation the air is cut off at the bottom inlet.

This air agitation is kept up for a period of five to ten minutes at which time a pump takes suction from the bottom of the kettle and discharges into it again through the strainers. During this circulation operation the temperature of the oil is raised to 180 to 200° F (82 to 93° C) by means of closed steam coils. This circulation and agitation is continued until the batch is completed or when all the sludge has dissolved into the Fuel Oil giving a smooth homogenous product.

If the sludge should begin settling on the bottom of the kettle it was found that it could be worked back into the oil by the introduction of steam through the suction line at the bottom of the kettle.

There are several factors which determine the ease and success with which a batch of sludge is fluxed off. If a higher temperature than 160° F (71° C) is used for acid treating the sludge will be hard and gritty and will form a harder coke Difficulties are also encountered when trying to disintegrate such a hard sludge in the fuel oil. If the correct temperature is used for acid treating and the temperature of the Fuel Oil is too high at the beginning of the fluxing operation, the sludge will coke and harden when it comes in contact with the hot oil and will cause difficulty in handling

Sludge from the second acid dump is handled differently in that a greater percentage of fuel oil is used to work it off 125 bbl. of fuel oil are used to about 40 bbl of sludge This is necessary because of the

hardness of the second sludge as compared to the first and the greater difficulty in disintegrating and dissolving it in the fuel oil.

The time required for completing a batch of sludge varies from 1 to 4 h depending upon the nature of the sludge.

Burning of the Sludge Fuel

When the sludge fuel is judged to be of satisfactory quality it is pumped into a fuel storage tank at the still battery. The oil is kept agitated with a small quantity of live steam and the tank is equipped with a pump which takes suction on the bottom and discharges back through the top, thus keeping the fuel oil in constant agitation and preventing the formation of any solids which would tend to settle out. The fuel oil is fed by gravity to injector type oil burners which have been installed under all stills.

Quality of Fuel

Average tests on a completed batch of sludge fuel are

Gravity	10.3° Bé
Ash	0.15%
Acidity	1.0%
B. Th. U. per lb	16800

Sludge fuel as manufactured in the above manner is found to be a satisfactory fuel for heating the shell and pipe stills at the refinery. Although it would appear that there would be some disadvantage in the use of such a fuel, no difficulty has been encountered. The small amount of ash in the fuel is carried out with the waste gases and none of it has accumulated on the still bottoms or tubes. This eliminates any objection that a deposit would build up on the exposed surfaces and eventually cause local overheating.

These examples of different refinery practice should serve to indicate that there is a definite economical use for acid sludge as a cheap, yet under carefully devised conditions, efficient fuel.

Burning Processes for the Sludge

There are in general two main types of burners.

The Rotary type of burner, is little more than a fuel incinerator. In many refinery cases where the production of acid sludge is greater than the amount of sludge that can be utilised by other methods, this type of burner is used to dispose of the surplus.

In size they vary greatly being built to suit individual refinery requirements, 4000 lbs./h is the largest size the author is aware of but this figure is probably exceeded in many cases.

The other type of burner are varieties of air oil injection burners for heating stills and other plant.

A little greater detail on these methods of combustion should be of value.

The rotary type of burner as has been stated is little more than an incinerator, it will handle with ease any waste fuel from refineries such as the acid sludge as produced, the wet sludge from the cooking kettles, dried sludge from sludge dumps, asphaltic residues and if necessary acid sludge fuel mixture. The burner is usually a form of rotary kiln generally in a horizontal position.

An American rotary burner which will serve to illustrate the type admirably is the Duncan. This is a horizontal rotary retort of varying capacity rotated at roughly 20 revolutions per hour. The rear end is equipped with a fuel hopped and a variable speed screw conveyor which feeds the fuel into the burner at the desired speed. The forward end of the burner is restricted in size to enable it to hold the solid fuel in the kiln until entirely consumed. The metallic portions of the burner are made of a special cast iron to reduce corrosion losses.

The sludge is fed through the screw conveyor and falls on to the incandescent fuel bed or burner lining where it almost instantly ignites. The volatile portions are vaporized and burned as gases and vapors in the early part of the cycle, and the residue is coked. The rotation of the burner keeps the fuel agitated, continually bringing fresh fuel against the heated lining where it is cracked to gas and coke.

When burning plastic or semi-fluid material, the fuel softens and tends to remain in mass on the bottom of the burner. High pressure jets of air or steam are directed against the plastic mass to agitate it until such time as the fuel is cracked to gas and coke by the heat of the kiln walls. Experience has shown that steam functions equally as well as compressed air for this purpose. Air from a forced draft is admitted around the screw conveyor, and passes through a series of vanes which give it a rotary motion This causes the air to hug the inside of the burner in such a way as to be brought in close contact with the fuel bed and any liquid fuel which may be carried up on the sides of the burner. The air admitted to the upper part of the burner supports the combustion of the gases. Tuyeres located below the fuel line furnish air for the combustion of the solids.

The rotation of the burner rolls the fuel mass over and over, advances it towards the front of the burner and breaks up the coke. The forced draft picks up the small coke particles and ash and carries them into the boiler combustion space. Sufficient primary air may be used to practically complete the combustion, or if preferred, the burner can be operated as a gas producer and secondary air used in the furnace proper to complete the combustion. The wet sludge is picked up from the storage pit by means of a monorail crane and clam-shell bucket, and is charged into a storage hopper located directly behind the burner. A variable speed, cast iron drag chain conveyor breaks the sludge into small lumps and conveys it from the storage hopper to the small feed hopper on the burner proper. The conveyor is controlled by a variable speed motor at such a rate as to keep the feed hopper about half full of fuel. The sludge is charged from the feed hopper into the burner by means of the screw conveyor at whatever rate that is desired Suffi-

cient gas is burned at all times to insure ignition of the heavy fuel. This usually requires about 6000 cu ft /h

The air oil injection burners are of varying nature In general however they are used when the fuel is used for heating purposes, pipe stills etc. These burners operate on closed furnaces either injecting the fuel under high pressure in the form of a mist from which it is suitably ignited to the fire space under the still tubes or along tubes in parallel to the still tubes, these tubes being perforated with small holes the fuel flowing out in thin streams from which it is suitably ignited. There is one great difficulty in burning the fuel and that is once again corrosion.

In heating stills with air oil burners using acid sludge fuel mixtures corrosion is a serious trouble.

The operating temperatures are very obviously too high to allow any moisture deposition and the corrosion must take place during the periods the still is not in use when they would have condensed moisture on them. When boilers are shut down periodically and the tubes flushed with water, heavy condensation on the outside very naturally takes place.

On heating up again the SO_2 and SO_3 fumes from fuel form with moisture sulphurous and sulphuric acid, which readily attacks the iron.

Corrosion is heaviest on the lowest tubes as the moisture drips on to these from those above.

The remedy lies in the abolition of moisture.

In some cases refiners use caustic soda, or other equally strong alkaline material in admixture with the sludge, in order to partially neutralize the acidity, but as a very large quantity would be required, and considering the cost of the neutralizing agent, this is hardly worth while when the raw acid sludge can be satisfactorily burnt, if the necessary precautions are taken.

At a large English refinery, however, using the calcium hypochlorite process of refining a portion and the residue of the lime sludge is used to neutralize the light acid sludge produced in the treatment of light distillates, kerosines etc.

The heavier sludge from lubricating oil and bright stock treatment is water washed to separate a quantity of the oil which is then used as a refinery fuel.

The residue is disposed of in the most convenient way in sludge ponds.

Asphalt as a Refinery By-Product Used as a Fuel

This is not a general refinery by-product and is obviously entirely dependent on the nature of the crude used.

Asphaltic petroleum residue of good quality is normally regarded as a valuable petroleum product and for road-making purposes it invariably commands a higher price than that obtained for fuel oil. Again for other more specialised purposes such as waterproofing, electrical insulation and the manufacture of roofing felt, good prices can usually be obtained Where however the asphaltic residue produced is not considered suitable for the present known applications, this relatively valuable material must of necessity be regarded as a refinery by-product,

siderable advantage particularly where storage space for asphaltic materials is limited and where the whole throughout of a given crude oil is being refined to give a complete range of fully refined products—e. g. motor spirit to lubricating oils.

Petroleum Coke

Petroleum coke is a waste product from the destructive distillation of petroleum products at temperature above their decomposition temperature. It is in appearance very varied ranging from a dirty sooty dust, fines, cakes to normal coke appearance.

Proximate Analysis	Petroleum Coke %	Anthracite Coal %	Bituminous Coal %	Lignite %
Moisture	1.40	4 2	2.9	37.1
Volatiles	12.03	4 5	34 3	26.9
Fixed Carbon	85.84	79.0	55.6	26.9
Ash	0.84	11 6	5 8	7.8
B t.u./lbs.	15293	12485	13630	6500

The extremely low ash content of petroleum coke will be readily noticed and this is a large advantage when considering the question of residue.

It is far superior in thermal value and is low in volatiles, this is important as it indicates the smoke producing qualities.

These properties indicate its use as a domestic and general fuel. Unfortunately as produced from the still it offers many transport and utilization difficulties due to its large content of powdery matter and general friability.

There are several processes for briquetting it but these will be dealt with later.

Production Sources

The last decade has seen the rise of the cracking and coking industries. Petroleum coke is produced from both these processes in large quantities and the vast expansion of these industries has increased the production of this by-product to a very great extent. Last year about one million tons were produced in the U.S.A.

Cracking

In the early part of this century the most important light fraction from petroleum was kerosine used for burning and illuminating purposes. The advent of the motor car brought a new product rapidly to the fore, i. e. motor spirit. The rapid development of the automobile industry soon changed the position and in a few years motor spirit was the largest and most paying product from petroleum.

The development of the car caused greater demand for spirit, the increase in the efficiency of cars led to more and more exacting standards for petrol

The refiner till a period ending just after the recent war could meet his petrol requirements quite easily from his crude production. The demand however for petrol rose to such an extent that the refiner was faced with another problem. Either he must increase his production of crude above his necessary figure for meeting markets with the heavier distillates or he must endeavour to increase his yield of petrol from his normal refining method On the straight forward distillation process up to then in use he was obtaining round about 17 to 20% of his crude as a motor spirit. Excess production of crude to enable him to meet the greater demand of petrol would in a very short while have meant impossible storage conditions.

The markets unfortunately for the heavier fractions had increased in nothing like the same proportion to that of the lighter. What was therefore more natural than that he should endeavour to obtain an increased yield of lighter distillates than he was then obtaining.

Research therefore developed the cracking industry.

This has resulted in the refiner being able to compete with the growing demand and the amount of spirit suitable for use as petrol now obtained from the crude is round 35%.

However the advantages of this process are to a certain extent offset by the fact that the continued heating besides breaking down the molecular structure of the charge and so forming lighter distillates also produces polymerisation, which is evidenced by deposition of the so-called petroleum coke usually a hard porous shining substance composed probably of hydrocarbons of high molecular weight of polycyclic form and usually low in hydrogen content.

Utilisation of Petroleum Coke

As in the majority of refineries no immediate use for the coke could be found it was therefore dumped and there arose again the question of storage space, almost acreage, as was the case with acid sludge.

Quite a large percentage of refineries were, owing to lack of space, unable to dispose of it by dumping and it is their experiences in the utilization of this product that is of particular interest.

The most important use yet found is as its use as an ashless, almost smokeless, rich fuel. A ton of good petroleum coke produces less than 20 lbs, of ashes which also are usually of non-clinkering nature. The coke requires less draught than ordinary coke or coal, it is consequently slower burning, more economical and generally requires less agitation. These manifold advantages give it a value to many industries almost on a par with that of anthracite.

Against these advantages it must be stated that the transportation of the coke is not usually an easy matter. On production it has a very large content of fines and soot and the larger size coke has a tendency to turn very quickly to fines and dust, therefore, when lengthy transportation is necessary then some form of treatment must be given it which raises the cost. Owing to its very small ash production it cannot be used along for firing chain grates and stokers The absence of the

protective layer of ashes makes the heat on the grates much greater and under these circumstances the grates very quickly burn out. It is therefore necessary to mix the coke with coal, equal quantities of these two fuels is said to be roughly the economic limit, and in this proportion there is very little evolution of smoke.

Generally however any kind of furnace including those hand-fed can utilise petroleum coke as a fuel provided there is a protective layer of bricks on the bars or grates.

It has been used in the smaller railroad engines in the southern United States with considerable success. Alterations to the design or layout of the fire boxes were negligible and running costs as compared with the fuel oil previously used were between 15 and 25% lower.

There are a number of other minor uses for this coke. They are minor only in respect to quantity as the products they produce usually obtain a considerably higher price than would the coke itself if used as fuel. These uses which include the production of almost pure carbon for the production of graphite, electrodes, crucibles, pencils, dry cell batteries, briquettes, etc., are governed entirely by the nature of the coke produced.

There has so far been mentioned only the cracking process as a source of petroleum coke production. There is however one other very large source of production and that is from the carbonisation industry, as this is now a separate industry and is hardly a refinery by-product the utilization of the coke produced from this source will not be dealt with.

Quite early American manufacturers found use for this product from cracking processes as a fuel and when the refineries found there was a plentiful and growing demand in towns close to their refinery they naturally started to exploit supplying towns remote from their installations more particularly those not in or near fuel producing areas

The following table showing the consumption of petroleum coke in detail for the year 1928 in America, indicates the relative importance of the various uses.

Consumption of Petroleum Coke, by Uses, 1928.

Type of Consumption	Short Tons
By Petroleum Refineries as fuel	550 000
As Domestic Fuel for House Heating	220 000
As Pulverized Fuel in Various Industries	154 600
Shipments to Foreign Countries	144 100
Manufacture of Electrodes and Carbon Products	105 200
Gas-Making and Generation of Electric Power	98 400
Lead and Zinc Smelters	25 800
Pigments, Carbides, Lime, etc	19 600
Experiments and Miscellaneous Heating	6 500
Total	1 324 200

It will be noticed that the refineries consume over 40% of the total consumption themselves. Some refineries burn this coke in an admixture with coal for heating stills etc. others pulverize the coke then mix the

pulverised fuel with low grade fuel oil, acid sludge, fuel oil etc. and burn it in closed furnaces by means of air oil burners, as has been described.

The second largest use is nominated as that of household heating. Here the nature of the coke is of the utmost importance. The only type of petroleum coke suitable for this use is the larger normal coke like lumps, the fines and soots are of little use as on a normal grate this fuel would slip through the grate bars. The alternative is to provide a new type of fireplace suitable for its economical combustion until the quality, nature, and price of the coke have been firmly established and a plentiful and well distributed supply arranged. This appears of but little use. The question of price apart from the preceeding, will of course, be the deciding factor. At the moment, the prices ruling for coke in the States is per ton

Lumps..................	$ 4.50 to $ 5.00
Still runs	$ 3.00
Breeze..................	$ 2 00

However if this product can be marketed in a convenient form and at a considerably cheaper price than coal with a good supply organisation arranged then it is hard to see any reason why it should not be a success.

The refiner has to a point met the position half way by the production of coke briquettes from his unwanted production of fines and coke soots. This is an interesting development and will receive attention later.

Third on the consumption list is its use as a pulverised fuel in various commercial industries.

The author understands that the pulverised product is used in some brick plants in admixture with the clay to assist in the burning of the brick and to improve its colour. The coke acts as a reducing agent to the metallic oxides in the clay without leaving any ash minerals in the brick as is the case when coal is used for the purpose

It is also on record that it is being used in a big meat packing company Fruit growers are using it for smudge fires as it has been found that it does not impair the quality and flavour of the fruit. Wireless manufactureres use it in the production of battery cells. Another use in the pulverised form is in foundries for metal smelting and refining. Cement manufacturers find it of use as a fuel in the production of their product It is stated that a ton of pulverised petroleum coke is sufficient to manufacture approximately 20 barrels of cement. Then again its use as a building heating fuel is obvious; on oil fired furnaces it can quite easily and profitably be used.

The authors have received advice on the stoking of a steamer in the East with low pressure cracking coke.

The analysis of the coke used was as follows:

Cal. Val. maximum	8920 cal.
Oil Content, Soluble in Benzol.........	6.2%
Sulphur......	0.17%
Ash	0.32%

The coke used was damp, as it had been lying out of doors and about 50% of it was in the form of coarse powder. It was dropped 12 ft. into the bunkers; from which it suffered no harm. It was first used in a mixture with coal in the proportion of coal to coke = 3 : 2, the coal being of poor quality, with about 30% ash. This gave satisfactory results. Later, a mixture of 2 : 3 parts of coal and 6 parts of coke, was used; this gave satisfactory results, and after running 24 h on this mixture one of the furnaces was stoked with the coke only. The combustion was good, with medium fires. A small portion dropped unburnt from the fire bars as these were 1" apart. This was put back on the fire again. Later, all furnaces were stoked with the coke. Combustion was good, with practically no smoke, giving plenty of steam. 1.85 lbs./i.h.p./h was used, in comparison with 2.35 lbs./i.h.p./h for coal. The objection that coke takes up too much space as compared with coal, was therefore overcome by the higher combustion value of the coke. This particular steamer used about 8 t of the coke in 24 h, in comparison with 11 t of coal. On arrival at Singapore fire bar bearers were found to be in good condition. The steamer's staff were well satisfied with this coke.

Fifth on the list: the manufacture of electrodes and carbon products has already been mentioned and the increasing consumption in this line is due to the high standard of carbon obtained.

Though these figures and remarks indicate that considerable progress is being made in the utilization of this by-product there is undoubtedly room for further utilization as the following figures will show.

	Coke Output tons	Coke Stocks tons
January 1928	103 200	331 300
April ,,	109 400	342 100
July ,,	127 000	384 900
October ,,	125 000	404 400
January 1929	137 900	403 800
April ,,	130 700	444 900
July ,,	157 900	563 900
Sept. ,,	161 200	648 500
21 months increase	56 2%	95.7%

Briquettes

As has been stated the refiner in order to find a market for the less marketable portion of the coke, the fines and soot, have in many cases solved it by the production of briquettes

Many processes have been evolved for the formation of briquettes, they all however initially pulverise the coke to a very fine mesh, and then bind it by some low priced fuel such as tar etc.

One most interesting process of double value consists in the first place of crushing and then pulverising the coke to 30 to 60 mesh. An electro magnet then takes out the metallic particles reducing subsequent wear on plant and making the product cleaner. The product is then mixed hot or cold with refinery acid sludge 5 to 10% usually being the

amount necessary. By this utilization of acid sludge another market is made for this also wasteful and troublesome product.

The coke and acid sludge are very thoroughly mixed and then fed to any form of briquetting press. A roll type press was selected producing small pillow shaped briquettes weighing 3 to 4 ounces. The product now in the form of a briquette would still not stand up to anything in the way of rough treatment. It is accordingly fed on to a conveyor and taken to a roaster or carbonising furnace wherein a temperature of 110 to 450° F (232° to 593° C) is maintained according to the product desired.

In this furnace the briquettes receive sufficient heat to drive all or part of the volatile matter off, the sooty fine carbon is disposed of and the authors claim the product to be a clean metallic like coke structure. The process also includes for the collection of the volatile matter driven off and its use in the gaseous state as a heating medium for the carbonizing plant.

The authors further state that the briquettes on emission from the furnace are a finished product consisting substantially of pure carbon of exceptionally hard structure and capable of withstanding the most severe handling, yet possessing a sufficiency of volatile matter to enable ready ignition but not enough, however, to prevent the fuel being smokeless.

Waste Gases

In the refining of petroleum a large quantity of gases are evolved which in the majority of refineries in the past have been looked upon as waste and have usually been burnt.

Various uses have now been found for this waste product.

In the first place it is in many cases passed through middle oils which absorb part of the gas The oils are then heated and the absorbed gas is recovered as motor spirit or light distillate. The stripped gas is then passed to the stills and is used under suitable conditions as heating power.

Another use is the cracking of these gases to form various alcohols.

An entirely different type of waste gas is "natural gas". This is, of course, the gas which issues from petroleum wells

The utilisation of this product can only be effected in certain cases, i. e , when the refinery is very close to the actual producing wells and as this is frequently the case in America the matter is of certain interest.

There are two chief methods of utilizing this product.

The first is in the refinery as a fuel, the gas being conveyed by pipe line to the stills It is burnt in closed furnaces through suitable burners.

The second use is as a commercial and domestic heating unit

The last few years have seen an immense stride in America in this form of utilization. Miles of pipe line have been laid to supply most of the towns in the central and southern states. According to United States Bureau of Mines 1 568 139 000 000 cu. ft of gas was produced and delivered to consumers in 1928 This figure incidentally is an increase of 8% over the previous year.

In the individual consumption, domestic consumers of whom there are over $4^1/_4$ million in the States used 20% at an average price of 60.8 cents per thousand cubic feet.

Of the remainder, approximately half was used for industrial purposes whilst the other half found use in the fields and refineries.

Lastly, natural gas is also stripped to produce a light spirit which though very wild is used in admixture with normal motor spirit to give this last product a lower boiling range. The extent to which this industry has grown may be gauged by the fact that 200 million gallons were produced in the States in October last.

The author desires to express his indebtedness to Mr. *J. Kewley* and Mr. *L. G. M. Roberts* for their assistance in collating the information in this paper.

Particular acknowledgment is made also to the following:

Mr. *J. Kewley*,
Dr. *G. Egloff*,
Mr. *J. B. Rather*,
Mr. *L. W. Barbour*,
Mr. *H. G. Osborn* and Mr. *L. L. Davies*,
Mr. *L M. Johnston* and Mr. *L. J. Farrell*,
Mr. *J C. Chatfield*,
Mr. *W. H. Thomas*.

Résumé

L'auteur donne une classification des sous-produits principaux dans une brève introduction:

1) résidu acide,
2) résidus asphaltiques (inutilisables pour des usages ordinaires),
3) cokes de pétrole,
4) gaz résiduels.

Un bref aperçu historique du problème dans toute sa généralité conduit au premier point le résidu acide. Ici on montre qu'il y a moyen de procéder d'après deux méthodes différentes, c'est à dire (A) récupération de l'acide et (B) utilisation du résidu acide tel qu'il est produit L'auteur passe en revue les différentes variétés de résidus acides et insiste sur la nécessité de les diviser en deux classes: résidu acide lourd provenant du traitement d'huiles de lubrification etc , et résidu au kerosène et contenant d'autres composants à basse température de distillation.

Sous le litéra (A) il décrit les procédés de séparation de l'acide et montre la difficulté que l'on éprouve dans la séparation complète et satisfaisante. On ne peut passer sous silence la différence entre les procédés de séparation pour les résidus lourds et légers.

Sous le litéra (B) l'auteur décrit l'utilisation de l'acide tel qu'il est produit de même que différents procédés de raffinage, des brûleurs et des foyers Il mentionne des problèmes qui se posent à propos de la corrosion et il propose une discussion relative à la cause et aux mesures préventives

La section consacrée aux résidus asphaltiques examine la nature des produits et décrit ses usages habituels et les difficultés que l'on éprouve lorsqu'on veut s'en servir comme combustible en relation avec le type de foyer et les résultats que l'on peut obtenir

L'auteur décrit les différentes qualités, sources et rendements quantitatifs et usages commerciaux des cokes de pétrole. La nature friable de ce produit est évidemment défavorable à son écoulement aisé Comme combustible il est cependant excellent, avec un grand pouvoir calorifique, mais il a une influence plutôt défavorable sur les brûleurs et les foyers Pour la production de force motrice on peut l'employer sous forme pulvérisée ou en mélange avec d'autres combustibles. L'auteur donne des renseignement à ce sujet et concernant les installations employées. Cette section prend fin sur une mention intéressante concernant le chauffage des chaudières d'un steamer d'Orient au moyen du coke de pétrole et indique les résultats excellents obtenus qui font espérer un brillant avenir pour ce combustible.

L'auteur traite brièvement la dernière section concernant les gaz résiduels mais s'étend sur les méthodes d'utilisation des gaz naturels et des gaz résiduels de la distillation. L'emploi de ces deux sortes de gaz pour le chauffage industriel et commercial est mentionné en même temps que des détails concernant l'extension rapide de cette industrie dans l'Empire.

Generalbericht

Gewinnung von natürlichen und künstlichen Ölen, ihre Umwandlung und die Eigenschaften der Motortreibstoffe

Dr. K. Sohn

Dieser Generalbericht umfaßt die folgenden Arbeiten:

a. Arbeiten über leicht siedende Treibstoffe, insbesondere zum Betriebe von Zündungsmotoren

Bericht Nr 255: Volatile Liquid Fuels (U.S.A.)
H. C. Dickinson

Der Verfasser gibt eine umfassende Monographie des für die Vereinigten Staaten von Nordamerika, des klassischen Landes des Roherdöls, bis jetzt allein wichtigen Autotreibstoffes „Gasoline“ (deutsch Benzin, englisch motor spirit, französisch essence genannt). Da im Jahre 1929 bereits 43,9% des gesamten in U.S.A. verarbeiteten Roherdöles in Benzin umgewandelt wurde, beschäftigten sich begreiflicherweise die Hauptarbeiten auf dem Gebiete des Mineralöles in den letzten Jahren mit „Gasoline“. Die Entwicklung der Sorten und der Marken, die Ergebnisse der Untersuchung der für Motorzwecke wichtigen Eigenschaften sind übersichtlich zusammengestellt, wobei besonders interessant ist, daß auch in den Vereinigten Staaten abschließende Prüfmethoden zur Bestimmung der Klopffestigkeit noch nicht gefunden sind. Mit einer Übersicht über die seitens der Behörden und anderer Verbraucher an Benzin gestellten Anforderungen und mit einer kurzen Erklärung, warum in den Vereinigten Staaten für die nächste Zeit das Erdölprodukt Gasoline das allein den Markt beherrschende sein wird, obwohl man auch dort sehr wohl die guten Eigenschaften der Motortreibstoffe anderer Herkunft kennt, schließt die Abhandlung, die für alle, welche über die technischen Anforderungen des amerikanischen Autotreibstoffmarktes sich rasch informieren wollen, von großem Interesse sein wird.

Bericht Nr 112: On the Chemical Composition of the Light Distillates of Japanese Petroleum (Japan)
Minoru Akita

Der Verfasser gibt eine interessante Zusammenstellung der Eigenschaften von 31 japanischen Roherdölen, unter welchen sich verhältnismäßig viele mit dem hohen Gehalt von 50—77% an unter 200° siedenden Anteilen befinden, und die Ergebnisse der chemischen Untersuchung der sog. Gasoline- (Benzin-) Fraktion aus diesen Roherdölen. Der Verfasser verwandte zur Untersuchung eine etwas modifizierte Methode von

Egloff und *Morrell* und von *Tizard* und *Marshall.* Die Zusammenstellung ergibt, daß die Benzinfraktionen der untersuchten Roherdöle im Durchschnitt aus 10% Aromaten, 50% Paraffinen und 40% Naphthenen bestehen. Besonders interessant sind die Roherdole von Ojiya mit einer Gasolinefraktion von 65,6%, wovon $^1/_3$ Aromaten sind, und das Roherdol der Grube Shukkoko im Erdolfeld Taiwan, dessen 62,3% betragende Gasolinefraktion sogar 48,8% Aromaten enthält.

Bericht Nr. 410: Kraftstoffe fur Vergasermotoren in der Tschechoslowakei (Tschechoslowakei)
Dr.-Ing. R. Siegel

Der Verfasser gibt eine Zusammenstellung der in der Tschechoslowakei, die keine nennenswerte eigene Roherdölerzeugung, sondern lediglich Erzeugung von Benzol und Spiritus hat, verwendeten Autotreibstoffe, die zeigt, daß auch Agrarlander ohne eigene Erdolvorkommen immerhin nennenswerte Alkoholmengen als Ersatz des auslandischen Benzins verwenden können.

Bericht Nr. 337: Die Autoxydation von Diolefinen und ihre Beziehung zur Bildung flüssiger Harze („Gumformation“) in Krack-Benzinen (Estland)
Prof. P. N. Kogerman

Nachdem der Verfasser nachgewiesen hat, daß der einheimische Autotreibstoff Estlands, das aus Kukersit hergestellte Brennschieferbenzin, dem aus Erdöl hergestellten Krack-Benzin in sehr vielen Eigenschaften, insbesondere in der Neigung zur Harz- (Gum) Bildung, ähnelt, sucht er diese fur Autotreibstoffzwecke sehr hinderliche Reaktion durch das Studium der Oxydation reiner Diolefine aufzuklaren. Interessant ist die von ihm festgestellte Tatsache, daß nicht alle Diolefine Sauerstoff unter Harzbildung aufnehmen. Diolefine mit isolierter Doppelbindung, wie Hexadien (1,5) erwiesen sich als beständig, wahrend man Diolefine mit konjugierter Doppelbindung nach den Ergebnissen der Arbeit als Hauptursache der gefurchteten Harzbildung ansehen muß.

Die Schlusse, die der Verfasser uber die Moglichkeit der Stabilisierung derartiger Krack-Benzine zieht, waren vielleicht noch positiver ausgefallen, wenn die umfassenden Arbeiten, die das Joint Research Committee der National Benzole-Association in seinem Bericht im Jahre 1928/29 veröffentlicht hat, der Allgemeinheit besser zuganglich waren.

Das englische Patent Nr. 289347 von *Somerville* und *Hoffert* und das deutsche Patent Nr. 447557 von Dr. *Jenö Tausz* in Karlsruhe geben gute Ergänzungen zu den Vorschlägen des Verfassers auf diesem Gebiete.

b. Arbeiten uber schwer siedende Treibstoffe zum Betrieb von kompressionzundenden Motoren

Bericht Nr. 63: The Economic Aspect of the Future Supplies of Diesel Fuel Oil in Connection with the Development of the Diesel Engine (Great Britain)
J. Kewley

Der Verfasser gibt eine interessante Zusammenstellung der Entwicklung der Roherdölerzeugung und Verwendung der Produkte aus Roherdol unter besonderer Berucksichtigung des heutigen Hauptverwendungszweckes der Erdöldestillate und der beiden Motortypen, die Gemisch- (Zündungs-) Motoren und die durch Kompression selbstzundenden Motoren (Dieselmotoren), die fur Motorkonstrukteure, insbesondere für Konstrukteure von Dieselmotoren, besonders lehrreich ist und mit dem Appell ausklingt, „die Entwicklung des Dieselmotors für wirklich Erdölrückstande anstatt Destillate verzehrende Maschinen zu versuchen, um die Erdrosselung des Diesels durch das sonst notwendige Ansteigen der Destillatpreise zu vermeiden". Bei der augenblicklich in fast allen Ländern für den Bau schnellaufender Dieselmaschinen einsetzenden Propaganda sind diese Mahnworte eines gewiegten Kenners der gesamten Erdölindustrie besonders beherzigenswert.

c. *Arbeiten uber die Umwandlung von Erdöl und über die Herstellung von Ersatzölen*

Bericht Nr. 343: Étude expérimentale du craquage des hydrocarbures purs (France)
G. Hugel

Der Verfasser sucht Licht in die technisch vielfach angewandte Spaltung (Kracken) der Kohlenwasserstoffgemische unbekannter chemischer Zusammensetzung zum Zwecke der Herstellung benzinartiger Kohlenwasserstoffe zu bringen, indem er das Verhalten von Einzelindividuen bekannter chemischer Zusammensetzung bei den verschiedensten „Krack"bedingungen durchforscht.

Er untersucht insbesondere den Einfluß von Druck und Temperatur sowohl bei kurzer Einwirkung durch Durchleiten durch erhitzte Röhren als auch bei langerer Einwirkung durch Erhitzen in Autoklaven. Das Studium der Faktoren Zeit und Katalysator hat der Verfasser vorläufig zuruckgestellt.

Allen denjenigen, die sich technisch mit dieser interessanten und wirtschaftlich außerordentlich fruchtbaren Materie beschaftigen, wird dringend empfohlen, die Einzelheiten der Ergebnisse an Hand der Originalarbeit zu studieren. Erwahnt sei nur, daß Verfasser zu dem Ergebnis gelangt ist, daß eigentliches Kracken nur bei Gegenwart einer Gasphase stattfindet, ferner daß der Druck die Krackreaktion in erster Linie deswegen fördert, weil er die Dampfe stärker verdichtet und infolgedessen eine bessere Warmeubertragung erlaubt.

Bericht Nr. 121: Distillation of Calcareous Bituminous Rocks for the Production of Mineral Oil (Italy)
Ing. Andrea La Porta

Der Verfasser unterzieht die Destillation kalkartiger bituminöser Gesteine zur Erzeugung von Mineralolen, die für sein an Kohle und Erdol armes Vaterland als Hauptquelle zur Ölerzeugung zur Verfugung stehen, einer eingehenden Untersuchung, die besonders in denjenigen Landern, die ähnliche Vorkommen haben, mit großem Interesse gelesen werden dürfte.

Nachdem er den Unterschied zwischen Ölschiefer und Asphaltgestein auseinandergesetzt hat, gibt er eine ausfuhrliche Betrachtung über die Grundlagen wirtschaftlicher Ausbeutung von Ölschiefern und schildert dann die Vorteile der Ragusa-Asphaltkalksteine in bezug auf Vorkommen, Eigenschaften usw. Er behauptet, daß noch bei einer Ölausbeute von weniger als 4% vom Gewicht des Rohmaterials die Ölerzeugung wirtschaftlich rentabel ist, wobei er wohl auf den Schutz seiner Industrie durch die Regierung hofft, weil er selbst die Kosten einer Tonne Rohol auf £ 1.12.3 bzw. £ 2.8.5 angibt, also selbst die Gestehungskosten auf $ 8—12 pro t berechnet.

Sehr interessant sind die Versuchsergebnisse und die Durchrechnung der Warmebilanz fur die Verarbeitung eines sog. 4proz. Asphaltgesteins auf Grund der technischen Verarbeitung von einer seit Jahren bei Ragusa in Betrieb befindlichen Destillation; die ohne fremdes Brennmaterial innerhalb 4 Stunden auf Arbeitsbedingungen gebrachten Öfen arbeiten monatelang ohne Unterbrechung, bis sie aus außeren Ursachen stillgelegt werden müssen Verfasser weist aber darauf hin, daß für jede Gesteinsart besondere Ofenkonstruktionen verwendet werden müssen, sodaß die in Ragusa verwendeten nicht ohne weiteres auf die Verarbeitung anderer Gesteine übertragen werden konnen. Er berechnet die Kosten einer Anlage zur Erzeugung von 50000 t jahrlich auf eine halbe Million Pfund und behauptet, daß damit eine einheimische Quelle fur 50000 t Rohöl fur uber ein Jahrhundert gesichert sei.

Aus den Analysenangaben geht hervor, daß das Rohöl leichte, sog. Benzinanteile nicht enthalt, aber fast frei von Hartasphalt ist, also voraussichtlich auf Schmieröl gut verarbeitet werden kann. Der Schluß enthält einen Appell an die Lander mit ahnlichen Vorkommen asphalthaltigen Gesteins, analoge Untersuchungen, wie sie in Italien mit Hilfe der italienischen Regierung gemacht worden sind, durchzuführen.

Bericht Nr. 422: The Oil-Shale Distilling System at Fushun (Japan) Japanese National Committee

Japan sucht bei dem steigenden Weltbedarf an flüssigen Heiz- und Treibstoffen soviel als moglich Öl innerhalb seiner Grenzen zu erzeugen, und hat im Ölschieferlager von Fushun ein Rohmaterial gefunden, dessen Ölausbeute auf ca 200 Mill. t. geschatzt wird.

Der Ölschiefer bildet das Hangende des Kohlevorkommens von Fushun und muß daher bei der Kohlegewinnung mit abgebaut werden. Trotz der dadurch sehr günstigen Gewinnungskosten standen der Verarbeitung des Ölschiefers Schwierigkeiten entgegen, weil der Schiefer nur $5^1/_2$% Öl enthalt und daher Zusatzhitze fur die Ölgewinnung benotigt. Es mußte daher eine besondere Verarbeitungsmethode zur Gewinnung der Öle und des Stickstoffs ausgearbeitet werden, auf Grund welcher jetzt seit Ende 1929 eine große Anlage mit einer Tagesverarbeitung von 4000 t Ölschiefer, verbunden mit einer Aufarbeitungsanstalt für das gewonnene Rohöl, erbaut ist, welche seit Anfang 1930 in vollem Betriebe sich befindet. Die interessante und eingehende Beschreibung dieser Anlage, die jährlich neben ca. 18000 t schwefelsaurem Ammoniak

54000 t Heizöl, 7000 t Paraffin und 5000 t Pechkoks erzeugt, sollte von den Fachkollegen aller Länder, die wegen ihrer Armut an Roherdöl einheimische Materialien zur Ölgewinnung heranziehen müssen, genau studiert werden, da sie beweist, was man selbst aus verhältnismäßig ölarmem Rohmaterial erreichen kann.

Bericht Nr. 336: Progress in the Treatment of Esthonian Oil Shale (Esthonia)
Prof. P. N. Kogerman and John Roberts

Die Verfasser beschreiben die drei zu der ursprünglich in Estland angewendeten Pintsch-Methode hinzugekommenen Arbeitsverfahren, und zwar

1. die sogenannte Kulschinsky-Retorte, einen Kanalofen mit Innenheizung der Estnischen Patent-Aktiengesellschaft,
2. die Gröndal-Carlson-Zeidler-Retorte des Estländischen Ölschieferkonsortiums, welche der erstgenannten sehr ähnlich ist, und
3. die horizontale rotierende Davidson-Retorte mit Außenheizung, in der ein höherer Benzingehalt des Öles erhalten werden soll als bei den übrigen Verfahren.

Bei allen drei Verfahren geben die Verfasser interessante Einzelheiten, namentlich auch über die erhaltenen Erzeugnisse.

Bericht Nr. 62: Methods of Utilising, for Power Purposes, the Various Petroleum Residuals and By-Products (Great Britain)
Dr. A. E Dunstan

Verfasser schildert in ausführlicher und umfassender Weise die verschiedenen Möglichkeiten der Verwendung der Sorgenkinder der erdölverarbeitenden Industrie, wie z. B. der Säurerückstände, des Asphalts, Kokses und der Abgase. Besonders dürften auch die Fachkollegen der verwandten Industrien seine Zusammenstellung der Aufarbeitung und Verwendung der Säurerückstände und die Beschreibung der Verwendung von Hartasphalt für Kesselheizzwecke interessieren.

Die Arbeit enthält für Fachleute so viele interessante Angaben und gibt so viele Anregungen, daß Fachkollegen nur dringend empfohlen werden kann, dieselbe in allen Einzelheiten selbst durchzustudieren.

Entwicklungslinien

Die Verarbeitung aller irgendwie verfügbaren Rohmaterialien auf flüssige Treib- und Heizstoffe, die Vervollkommnung der Verarbeitungsmethoden nach der Richtung, möglichst große Mengen leicht siedender Treibstoffe aus dem verfügbaren Rohmaterial zu gewinnen, beschäftigen die Fachkollegen der ganzen Welt. Der Chemismus wird durchforscht, um auf diese Weise die Umwandlung schwer siedender Öle in leicht siedende so rationell wie möglich gestalten zu können.

Die gelehrten Fachgenossen aller Länder werden den in Deutschland in technischem Ausmaße durchgeführten Versuch, zur Herstellung von leicht siedenden Treibstoffen mehr chemische als physikalische Methoden

heranzuziehen, mit Macht weiter fortführen, um so mehr, als diese Art der Umwandlung den an Rohmaterial armen Landern die Gewinnung der begehrten, leicht siedenden Treibstoffe in beliebiger Menge verspricht.

Diskussionsvorschläge

1. Welche Erfahrungen sind mit gekrackten Erdölen in bezug auf Lagerbestandigkeit gemacht worden?
2. Welche Erfahrungen sind mit den durch sog. destruktive Hydrierung hergestellten Treibstoffen in bezug auf Lagerbestandigkeit gemacht worden?
3. Welche Erfahrungen sind mit kunstlich zugesetzten Verzogerungsmitteln (Inhibitors) zur Stabilisierung gekrackter Treibstoffe gemacht worden?
4. Welche Erfahrungen sind mit leicht siedenden Treibstoffen, die aus anderem Rohmaterial als Roherdöl hergestellt sind, gemacht worden?
5. Zusammenhang zwischen Laboratoriumsanalyse und motorischer Brauchbarkeit der Treibstoffe.

General Report

Production of Natural and Synthetic Oils, their Treatment and the Properties of Motor Fuels

Dr. K. Sohn

This General Report comprises the following papers:

a. Papers on Light Oils and Spirits especially for Engines Working with Electric Ignition

Paper No. 255: Volatile Liquid Fuels (U.S.A.)
H. C. Dickinson

The author has written a comprehensive monograph on "Gasoline", (German "Benzin", English "Motor Spirit", French "Essence") the only fuel for automobiles that has hitherto been of any importance in the U.S.A., the "classical" country of crude mineral oil. Since in 1929, 43.9% of all the crude mineral oil treated in the U.S.A. was made into motor spirit, the chief works on mineral oil published in the last few years naturally treat of gasoline, the development of the different kinds and brands, the results of research as to what properties are important for driving engines—all these are clearly set out; it is of special interest to note that even in the U S.A. conclusive tests for determining whether the oil is proof against pinking have not yet been discovered. The papers conclude by giving a survey of the characteristics of the gasoline called for by the authorities and the consumers, as well as a short explanation as to why for the next few years gasoline from mineral oil will dominate the U S.A. market, although the good points of engine fuel derived from other sources are recognized. These papers will be of special interest to all those who wish to obtain rapidly information about the technical properties of fuels in vogue on the American market.

Paper No 112: On the Chemical Composition of the Light Distillates of Japanese Petroleum (Japan)
Minoru Akita

The author gives an interesting and comprehensive list of the properties of 31 Japanese crude mineral oils, comparatively many of which contain as many as 50—77% constituents which boil below 200°. He also gives the results of the chemical analysis of the so-called petrol fractions of these crude mineral oils. For the purpose of analysis the author employed in a somewhat modified form the methods of *Egloff* and *Morrell* and of *Tizard* and *Marshall.* The upshot of the report is

that the petrol fractions of the crude mineral oils analysed consist on the average of 10% aromatic compounds, 50% paraffins and 40% naphthenes. Of special interest are the crude mineral oils of Ojiya with 65.6% of light oil fractions of which one third are aromatic compounds and the crude mineral oil of the Shukkoko well in the oilfield of Taiwan, the light oil fractions of which amount to 62.3%, of which 48.8% are aromatic compounds.

Paper No. 410: Kraftstoffe für Vergasermotoren in der Tschechoslowakei (Tschechoslowakei)
Dr.-Ing. R. Siegel

The author describes the fuels used in Czechoslovakia where there is no crude mineral oil to speak of but where benzol and alcohol are produced; thus showing that agricultural countries where there is no crude mineral oil can nevertheless furnish considerable quantities of alcohol as a substitute for foreign motor spirits.

Paper No. 337: Die Autoxydation von Diolefinen und ihre Beziehung zur Bildung flüssiger Harze („Gumformation") in Krack-Benzinen (Estland)
Prof. P. N. Kogerman

The author proves that the native motor spirit of Esthonia, the shale oil spirit manufactured from Kukkersite, resembles the cracked spirit made from petroleum, in many respects, especially in the tendency to form gum; he then attempts to throw light on the reaction which is so harmful in motor engine fuels, by studying the oxidization of pure diolefine. He has established the interesting fact that not all diolefines absorb oxygen in the process of gum formation. Diolefines with isolated double bonds like hexadiene (1.5) proved to be stable, whereas diolefines with conjugate double bonds must according to this investigation be regarded as the chief cause of gum formation.

The conclusions which the author draws as to the possible stabilization of such cracked spirit would perhaps have been still more convincing, if the comprehensive studies, published by the Joint Research Committee of the National Benzole Association in its report of the year 1928/29, were more accessible to the general public

The English patent No 289,347 of *Somerville* and *Hoffert* and the German patent No. 447,557 of Dr. *Jenò Tausz* of Karlsruhe are of great supplementary value to the proposals of the author in this sphere.

b. Papers on Fuels having High Boiling Points for Driving Internal Combustion Engines of the Diesel or Semi-Diesel Types

Paper No. 63: The Economic Aspect of the Future Supplies of Diesel Fuel Oil in Connection with the Development of the Diesel Engine (Great Britain)
J. Kewley

The author gives an interesting account of the development of crude mineral oil production and of the uses of the derivatives of crude mineral

oil with special reference to the present day main uses of petroleum distillates and the two types of engines — namely those having special means for ignition of the gaseous mixture and those having auto-ignition by compression This is very instructive for designers of I. C. engines and especially of Diesel engines. He concludes with an appeal to "try and develop the Diesel engine so that it will burn the actual residuum of petroleum instead of the distillates and thus prevent the Diesel engine from falling into disuse, which it must otherwise inevitably do, owing to the unavoidable rise in the price of distillates". This warning uttered by one who has wide experience in the whole mineral oil industry should certainly be taken to heart in view of the propaganda for high speed Diesel engines which is starting in nearly every country.

c. *Papers on the Treatment of Mineral Oil and on the Production of Substitute Fuel Oils*

Paper No. 343. Étude expérimentale du craquage des hydrocarbures purs (France)
G. Hugel

The author attempts to throw light on the process so much employed of cracking hydrocarbon mixtures of unknown chemical composition in order to produce hydrocarbons similar to petrol. To do this he investigates the behaviour of individual distillates whose chemical composition is known, under the most widely varying conditions of "cracking".

In particular he investigates the influence of pressure and temperature both when the action is brief, the compound being passed through heated pipes, and when the action is of longer duration, the compound being heated in autoclaves. For the time being, the author has ignored the factors of time and catalysis.

We recommend all those who are technically interested in this fascinating subject, which is of great industrial importance, to study the details in the original paper. We will only add that the author has come to the conclusion that actual "cracking" only takes place in the presence of a gaseous phase; further, that pressure conduces to the cracking reaction, principally because it makes the gases denser and therefore permits of better transmission of heat.

Paper No. 121: Distillation of Calcareous Bituminous Rocks for the Production of Mineral Oil (Italy)
Ing. Andrea La Porta

The author subjects the distillation of calcareous bituminous rock for the production of mineral oil to a searching investigation. His country is very poor in coal and mineral oil and the paper will be of special interest in those countries where the conditions are similar.

After explaining the difference between shale and bituminous rock, he proceeds to a minute consideration of the principles underlying the economic exploitation of oil shales and describes the advantages of the calcareous bituminous rock of Ragusa with reference to its occurrence,

characteristics, etc. He maintains that even if the oil produced is only 4% of the weight of the raw material it is nevertheless profitable; hoping probably that the Government may afford his industry protection since he fixes the price of a ton of crude oil at £ 1.12.3 to £ 2.8.5, that is to say he calculates the cost of production at $ 8 to $ 12 a ton.

Of great interest are the results of experiments and the calculation of the heat balance in the treatment of so-called 4% bituminous rock, based upon the process used for many years in a distillation plant at Ragusa; the furnaces attain working conditions without extraneous fuel within the space of four hours, and often work for months on end until they have to be stopped owing to external circumstances. But the author points out that for each different kind of rock a specially constructed furnace has to be used, so that those used at Ragusa cannot be employed without modification for other rocks. He calculates that the cost of an installation producing 50,000 tons per annum would be half a million pounds and declares that by such means a home supply of 50,000 tons of crude oil would be ensured for over a century.

From the chemical analysis it appears that the crude oil does not contain volatile, so-called petrol fractions, but is almost entirely free from hard asphalt and consequently appears likely to be suitable for making into lubricating oil. He concludes with an appeal to those countries where similar bituminous rocks are found to undertake analogous experiments such as these which were carried out with the assistance of the Italian Government.

Paper No. 422: The Oil-Shale Distilling System at Fushun (Japan)
Japanese National Committee

In view of the steadily increasing world demand for oil for heating and propulsive purposes, Japan tries to produce as much oil as possible within her own boundaries and has found in the oil shale deposits at Fushun raw material of which the oil content is calculated at about 200 million tons.

Oil shale forms the roof of the coal seams of Fushun and must therefore be got at the same time as the coal. In spite of the low cost of production due to this fact there were many difficulties in the way of treating the oil shale, because the shale contains only $5^1/_2$% of oil and therefore requires additional heat if the oil is to be distilled. Therefore a special process for producing the oils and the ammonia had to be worked out.

Since the end of 1929 a large installation based upon this process has been constructed for dealing with 4,000 t of oil shale daily and also for treating the crude oil thus produced.

This has been working full time since the beginning of 1930. This installation which produces in addition to about 18,000 t sulphate of ammonia, 54,000 t fuel oil, 7,000 t paraffin and 5,000 t pitch coke is most interestingly described in detail. In countries where, owing to lack of crude oil, native resources must be drawn on for the production of oil, all those interested in the industry should study this

description attentively, for it shows what may be achieved even with raw material comparatively poor in oil.

Paper No. 336: Progress in the Treatment of Esthonian Oil Shale (Esthonia)
Prof. P. N. Kogerman and John Roberts

The authors describe the three methods used in Esthonia in addition to the Pintsch method, viz.,

1. the Kulschinsky Retort, a tunnel kiln with internal heating of the "Eesti Patendi A/S",
2. the Gröndal-Carlson-Zeidler Retort of the "Estlandska Oljeskiffer-konsortiet", which is very similar to the one mentioned in 1., and
3. the Davidson Rotary Retort with external heating, by which a crude oil with a higher content of motor spirit is said to be obtainable than by the other methods.

The authors give interesting details, particularly on the resultant products.

Paper No. 62: Methods of Utilising, for Power Purposes, the Various Petroleum Residuals and By-Products (Great Britain)
Dr. A. E. Dunstan

The author gives a detailed and comprehensive account of the various possibilities for utilizing waste products of the mineral oil industry, e.g. the acid sludge, the asphalt, coke and waste gases. We particularly recommend to those interested his account of the treatment and utilization of acid residuals and his description of the use of hard asphalt for boiler fuel.

The paper contains so much interesting work and is so stimulating that all are strongly recommended to study it exhaustively.

Trend of Development

The experts of the oil industry the world over are concerned with the treatment of all available raw materials with a view to producing liquid fuel for power and heating and with perfecting the methods of treatment to the end that the greatest possible proportion of the lighter oils may be obtained from the raw material. Chemistry is put under contribution to discover a means of transforming oils with a high boiling point into oils with a low boiling point in the most practical and economical manner possible.

The experts of all countries will energetically carry on and extend the experiments initiated in Germany for producing oils with a low boiling point rather by chemical than by physical means; all the more so as this method of obtaining the desired hydrocarbons with a low boiling point promises even those countries which lack the raw material adequate supply.

Points for Discussion

1. What experiences have been gained as regards the stability of mineral oils which have been subjected to cracking?

2. What experiences have been gained in respect to the stability of light oils produced by means of so-called destructive hydrogenation?

3. What is people's experience of the stabilization of cracked light oil secured by the addition of inhibitors?

4. What are the experiences regarding hydrocarbons with low boiling points that have been produced from raw materials other than crude mineral oil?

5. The connection between laboratory analysis and utility of fuel oils for power purposes.

Rapport général

Production d'huiles naturelles et artificielles, leur transformation et les propriétés des carburants pour moteurs

Dr. K. Sohn

Ce rapport général comprend les rapports suivants:

a. Travaux effectués sur les carburants distillant à basse température particulièrement au point de vue de leur emploi dans les moteurs à explosion.

Rapport No. 255: Volatile Liquid Fuels (U.S.A.)
H. C. Dickinson

L'auteur présente une monographie très complète de la gazoline (en allemand benzine, en anglais motor spirit, en français essence) seul carburant ayant jusqu'à présent une réelle importance pour les automobiles, en Amérique, le pays classique du pétrole.

En 1929, environ 43,9% du pétrole brut raffiné aux Etats-Unis ont été transformés en essence; aussi les travaux fondamentaux exécutés dans ces dernières années dans le domaine des huiles minérales, traitent ils tout spécialement de ce produit. Le développement des espèces et des marques, les résultats des recherches se rapportant aux propriétés de l'essence intéressant le fonctionnement des moteurs sont exposés clairement, et il est curieux de remarquer qu'aux Etats-Unis même on n'a pas encore trouvé de méthode d'essai concluante pour déterminer la résistance au cognement. L'auteur, après avoir indiqué brièvement les exigences que manifestent les autorités et les autres clients utilisant l'essence, explique en quelques mots, pour quelles raisons aux Etats-Unis, demain comme aujourd'hui, le dérivé du pétrole appelé essence, sera le maître incontesté du marché et, ceci bien que l'on connaisse, là-bas, les propriétés remarquables des carburants d'origine différente.

L'auteur termine, sur ces remarques, son mémoire qui sera de grand intérêt pour tous ceux qui désirent réunir rapidement une documentation sérieuse, au point de vue technique, sur les exigences actuelles du marché américain des carburants.

Rapport No 112. On the Chemical Composition of the Light Distillates of Japanese Petroleum (Japan)
Minoru Akita

L'auteur compare entre elles les propriétés de 31 pétroles japonais dont un grand nombre, en somme, ont une teneur de 50 à 77% en éléments distillant en dessous de 200°; il donne quelques résultats des recherches chimiques effectuées sur la fraction dénommée gazoline

(benzine) de ces pétroles. L'auteur utilisait pour ces recherches une méthode dérivant de celles *d'Egloff* et *Morrell* et de *Tizard* et *Marshall*. Ces expériences ont montré que les fractions «benzine» des pétroles examinés avaient la composition moyenne suivante: 10% de la série aromatique, 50% de la série aliphatique et 40% de la série naphténique. Parmi les plus intéressants, l'auteur cite les pétroles d'Ojiya dont la fraction essence est de 65,6% (dont $^1/_3$ aromatique) et les pétroles du puits Shukkoko dans le champ pétrolifère de Taiwan, dont la fraction essence est de 62,3% avec 48,8% d'aromatiques.

Rapport No. 410. Kraftstoffe für Vergasermotoren in der Tschechoslowakei (Tschechoslowakei)
Dr.-Ing. R. Siegel

L'auteur compare entre eux les carburants en usage en Tchécoslovaquie, qui n'a pas de production sérieuse de pétrole indigène, mais seulement de benzol et d'alcool. Il montre que les nations agricoles, sans production d'huiles indigènes, peuvent toujours utiliser d'importantes quantités d'alcool pour remplacer les essences étrangères.

Rapport No. 337: Die Autoxydation von Diolefinen und ihre Beziehung zur Bildung flussiger Harze («Gumformation») in Krack-Benzinen (Estland)
Prof. P. N. Kogerman

L'auteur indique d'abord que le carburant indigène esthonien, l'essence de schiste obtenue à partir de la Kukersite, ressemble assez bien aux essences de cracking tirées du pétrole, et en possède de nombreuses propriétés, particulièrement la tendance à la résinification. Il cherche ensuite à expliquer cette réaction, très fâcheuse pour l'emploi de l'essence dans les moteurs, en étudiant l'oxydation de dioléfines pures. Ainsi, il a constaté, fait très intéressant, que toutes les dioléfines ne tendent pas à se résinifier sous l'action de l'oxygène. Les dioléfines à double liaison isolée, comme l'hexadiène (1,5), sont stables, tandis que l'on peut considérer, d'après les résultats de ces travaux, que les dioléfines à double liaison conjugée sont les causes essentielles de cette résinification redoutée.

Les conclusions que l'auteur en tire pour la possibilité de rendre stables des essences de cracking de cette espèce, seraient peut-être encore plus nettes, si les travaux d'ensemble que le Comité de Recherches de la National Benzol-Association a publié dans son rapport en 1928—1929 étaient plus accessibles à tout le monde. Le brevet anglais n° 289 347 de *Sommerville* et *Hoffert* et le brevet allemand n° 447.557 du Dr. *Jenö Tausz* de Karlsruhe complètent heureusement les indications du rapporteur sur ce sujet.

b. Recherches sur les huiles lourdes pour les moteurs où l'allumage se fait par compression

Rapport No 63: The Economic Aspect of the Future Supplies of Diesel Fuel Oil in Connection with the Development of the Diesel Engine (Great Britain)
J. Kewley

Le rapporteur compare d'une façon intéressante le développement de la production pétrolifère et de l'emploi des dérivés du pétrole, en tenant particulièrement compte de l'usage auquel les produits de distillation du pétrole sont destinés et des deux types de moteurs, le moteur à explosion et le moteur à autoallumage par compression; cette comparaison est extrêmement instructive pour les constructeurs spécialement pour ceux qui fabriquent les moteurs Diesel précités. L'auteur termine en indiquant: «Il faut chercher le développement des moteurs Diesel dans l'emploi de machines consommant réellement des résidus du pétrole à la place des produits de distillation si l'on veut éviter l'étranglement des moteurs Diesel par l'augmentation inévitable du prix de ces produits de distillation.» Ces avertissements solennels, venant d'un homme particulièrement qualifié par sa connaissance approfondie de toute l'industrie pétrolifère, auront une influence incontestable pour instaurer immédiatement dans tous les pays une propagande pour la construction de moteurs Diesel à grande vitesse.

c Recherches sur la transformation du pétrole et sur l'obtention d'huiles succédanées

Rapport No 343: Étude expérimentale du craquage des hydrocarbures purs (France)
G. Hugel

L'auteur cherche à voir clair dans le procédé maintes fois utilisé du «craquage» d'un mélange chimiquement indéterminé d'hydrocarbures, dans le but d'obtenir des hydrocarbures du genre de l'essence. C'est pourquoi il examine l'attitude des éléments séparés d'une composition chimique connue dans les diverses conditions du craquage

Il examine tout spécialement l'influence de la pression et de la température, aussi bien par une action brève (traversée par un tube chauffé) que par une action prolongée (chauffage en autoclave). L'auteur a réservé l'étude du facteur temps et des catalyseurs.

A tous les techniciens qui s'occupent de ces questions très intéressantes et extrêmement profitables au point de vue économique, nous recommandons vivement d'étudier dans le rapport original les données et les résultats de ces travaux. Nous mentionnons seulement que l'auteur est arrivé au résultat suivant. le véritable craquage ne peut avoir lieu qu'en présence d'une phase gazeuse; de plus, la pression active surtout la réaction du craquage au tout premier chef parce qu'elle condense plus énergiquement les vapeurs et permet donc une meilleure transmission de la chaleur.

Rapport No. 121: Distillation of Calcareous Bituminous Rocks for the Production of Mineral Oil (Italy)
Ing. Andrea La Porta

L'auteur nous offre une étude très fouillée de la distillation des roches calcaires bitumineuses pour l'obtention d'huiles minérales; ce procédé met à la disposition de son pays, pauvre en charbon et en pétrole, une source appréciable d'huiles minérales.

Cette étude sera lue avec intérêt dans les pays qui disposent de gisements analogues

L'auteur commence en montrant la différence qui existe entre les schistes bitumineux et les asphaltes; ensuite il donne quelques considérations détaillées sur les éléments fondamentaux d'une exploitation économique des schistes bitumineux et définit les avantages des asphaltes de Raguse (gisement, propriétés, etc).

Il affirme que la production de l'huile donne un rendement économique satisfaisant, même si la proportion d'huile obtenue est inférieure à 4% du poids du minéral brut, il espère, de ce fait, obtenir pour son industrie une protection du gouvernement, parce qu'il évalue les frais d'une tonne d'huile brute de Livre 1/12/3 à Livre 2/8/5 ce qui correspond à 8 à 12 $ par tonne.

Les résultats de ces expériences et les calculs du bilan thermique pour le traitement d'un asphalte de ce genre à 4% sont fort instructifs; ils sont basés sur l'exploitation d'une usine de distillation en service depuis plusieurs années près de Raguse. Les fours amenés à la température voulue en l'espace de 4 heures et sans combustible étranger, fonctionnent plusieurs mois sans interruption, jusqu'au moment où on doit les éteindre pour des causes extérieures.

Mais l'auteur nous prévient, à ce sujet, que chaque qualité de minéral réclame une construction particulière du four et qu'on ne peut utiliser tels quels les fours en service à Raguse pour le traitement d'autres asphaltes. Il évalue les frais d'établissement d'une installation pouvant fournir 50.000 t par an à environ un demi-million de livres et affirme que son pays est assuré d'avoir, pour un siècle et plus, une source indigène d'huile brute de 50.000 t.

Il résulte des données de l'analyse que l'huile brute ne contient pas d'hydrocarbures légers du genre de l'essence, mais qu'elle est complètement exempte d'asphalte résinifié et qu'on peut probablement la traiter pour les huiles de graissage Dans la conclusion, le rapporteur fait appel aux nations possédant, dans des conditions analogues, des asphaltes, leur demandant de faire des expériences semblables à celles qu'il a faites en Italie avec l'appui du gouvernement italien.

Rapport No 422: The Oil-Shale Distilling System at Fushun (Japan)
Japanese National Committee

A cause des besoins croissants du monde entier en carburants et en combustibles liquides, le Japon cherche, autant que possible, à produire des huiles minérales à l'intérieur de son territoire, il a découvert une matière première dans le gisement de schiste bitumineux dont les réserves exploitables d'huile sont évaluées à environ 200 millions de tonnes.

Les schistes bitumineux forment le toit et le mur du gisement de charbon de *Fushun* et doivent, de ce fait, être exploités en connexion avec la production de charbon. Malgré les frais de production très réduits de ce fait, le traitement des schistes bitumineux présente de grandes difficultés parce que la teneur du schiste ne dépasse pas $5^1/_2$% d'huile et qu'on a besoin, par conséquent, d'un chauffage supplémentaire pour la production de l'huile. On a étudié, dans ces conditions, une méthode spéciale de traitement pour l'obtention de l'huile et de l'azote, méthode

utilisée depuis la fin de 1929 dans une usine capable de traiter par jour environ 4.000 t de schiste, et comportant une installation annexe qui permet de raffiner l'huile brute et se trouve en pleine exploitation depuis le début de 1930. La description fort intéressante et approfondie de cette usine capable de produire annuellement environ 18.000 t de sulfate d'ammoniaque, 54.000 t d'huile de chauffage, 7.000 t de paraffine et 5.000 t de coke de pétrole sera étudiée avec profit par tous les spécialistes des pays qui cherchent à produire du pétrole au moyen des matériaux indigènes, à cause de leur pauvreté en pétrole. Elle démontre, en effet, ce que l'on peut obtenir au moyen d'un minéral brut relativement pauvre en huile.

Rapport No. 336: Progress in the Treatment of Esthonian Oil Shale (Esthonia)
Prof. P. N. Kogerman and John Roberts

Les auteurs donnent une description des installations construites pour l'utilisation des schistes bitumineux, dont l'Esthonie possède de grands gisements.

Outre les gazogènes du système Pintsch adoptés d'abord, on emploie les 3 procédés suivants:

1. la cornue dite Kulschinsky, un four tunnel à chauffage intérieur, qui est en service à la concession de la «Eesti Kivioli Company»
2. la cornue dite Grondal-Carlson-Zeidler, qui ressemble beaucoup à la précédente et est en service à l'usine du «Estlandska Objeskifer-konsortiet»,
3. le four horizontal rotatif de Davidson chauffé extérieurement qui fournit un plus grand rendement en huiles légères que les autres fours.

Les auteurs donnent pour tous les 3 procédés des détails intéressants, ainsi que sur la qualité des produits obtenus

Rapport No. 62: Methods of Utilising, for Power Purposes, the Various Petroleum Residuals and By-Products (Great Britain)
Dr. A. E. Dunstan

L'auteur définit, d'une façon très détaillée, les diverses possibilités d'emploi des sous-produits des industries traitant le pétrole, comme par exemple, les résidus acides, les asphaltes, le coke et les gaz. Aussi, les spécialistes de ces industries s'intéresseront vivement à son exposé du traitement et de l'emploi des résidus acides ainsi qu'à la description de l'emploi des asphaltes résinifiés pour le chauffage des chaudières. Ce rapport donne encore un certain nombre de résultats instructifs et d'indications que les industriels spécialistes devront rechercher et étudier dans le travail original.

Développement

Le traitement de toute sorte de matières premières disponibles en vue d'obtenir des combustibles et des carburants liquides, les perfectionnements de ces méthodes de traitement pour obtenir les plus grandes quantités possibles de carburant léger au moyen de matières premières

disponibles intéressent les spécialistes du monde entier. C'est aux chimistes d'examiner de quelle façon on pourra obtenir, aussi rationnellement que possible, la transformation des huiles minérales lourdes en huiles légères.

Les spécialistes de tous pays devront poursuivre, à l'avenir, les recherches techniques exécutées en Allemagne pour rechercher des méthodes plutôt chimiques que physiques de production de carburants légers, et ceci, d'autant plus que ce mode de transformation permet aux pays qui sont pauvres en matières premières d'obtenir en quantité suffisante les carburants légers qu'ils réclament.

Propositions de discussion

1. Quelles expériences a-t-on faites avec les pétroles craqués en ce qui concerne les changements de composition pendant l'emmagasinage ?

2. Quelles expériences a-t-on faites avec les carburants obtenus par la méthode d'hydrogénation destructive en ce qui concerne les changements de composition pendant l'emmagasinage ?

3 Quelles expériences a-t-on faites avec les procédés artificiels de retardement (inhibitors) pour stabiliser les carburants craqués ?

4. Quelles expériences a-t-on faites avec les carburants légers que l'on obtient au moyen d'autres matières premières que le pétrole brut ?

5. Connexion entre les analyses chimiques des carburants et leur qualité d'utilisation pratique ?

Diskussionsbericht

Gewinnung von natürlichen und künstlichen Ölen, ihre Umwandlung und die Eigenschaften der Motortreibstoffe

Dr K. Sohn

An der Diskussion nahmen die folgenden 7 Herren teil

Dunstan, A E., Dr Sc., Chief Chemist, Anglo Persian Oil Company Ltd , London EC 2, Finsbury Circus, Britannic House.

Egloff, G , Dr., Petroleum Technologist, Universal Oil Products Co , Chicago, 2120 Strauss Building

Friedmann, W., Dr , Chemiker, Berlin-Schöneberg, Kufsteiner Str 13.

Griffith, R H., Dr., Chemist, Gas Light and Coke Co , Fulham, Gas-Works, Kings Road.

Haidegger, E , Dipl -Ing , kgl ungar Oberbergrat, Dir , Ung El -Verein, Budapest V, Akademia utca 9.

Oshima, Y , Prof , Dep. applied Chem , University Tokyo.

Schmidt, A. W , Dr -Ing , Techn Hochschule Breslau, Breslau, Kurassierstr 109

Die Diskussion befaßte sich im wesentlichen mit den vom Generalberichterstatter angeregten Punkten 1 und 5 und gab dann noch Ergänzungen zu einigen eingereichten Arbeiten

Schmidt-Deutschland äußerte sich ausführlich zu Punkt 5 der Diskussionsvorschläge. Er machte im Anschluß an den Bericht 255 von Dickinson darauf aufmerksam, daß physikalische Laboratoriumsmethoden allein keinen Aufschluß über die motorische Verwendbarkeit eines Autotreibstoffes geben, daß insbesondere die Siedekurve wenig Aufschluß über die Brauchbarkeit gibt Man ist auch in Deutschland damit beschäftigt, physikalische und besonders chemische Prüfmethoden mit dem praktischen Verhalten eines Treibstoffes im Motor zu vergleichen und hofft so, allmählich Anhaltspunkte zu finden, die eine rein laboratoriumsmäßige Prüfung der Treibstoffe ermöglichen, bis jetzt ist jedoch ein brauchbares Ergebnis noch nicht erzielt

Egloff-V. St. Amerika berichtete ausführlich über die von ihm und seinen Mitarbeitern gemachten Erfahrungen mit einzelnen Zusatzmitteln, die für eine Stabilisierung der nach dem Crackverfahren hergestellten Benzine dienen sollen. Ob und inwieweit die von ihm auch in der Literatur bereits bekanntgegebenen Zusatzmittel, die Phenole und Kresole, die zu Stabilisierungszwecken besonders geeignet zu sein scheinen, erreichen oder übertreffen, ging aus seinen Ausführungen nicht hervor

Friedmann-Deutschland und *Griffith*-England beschäftigen sich mit Bericht 337 von Kogerman und Bericht 343 von Hugel. Ersterer glaubt, daß das fast vollständige Fehlen der Olefine in natürlichen Roherdölen dadurch zu erklären sei, daß diese bei Gegenwart von Katalysatoren oder Schwefel Naphthene oder Asphaltöl gebildet haben. Er sowohl wie Griffith

beschäftigten sich auch eingehend mit dem Hugelschen Bericht, dessen Ergebnissen sie im allgemeinen zustimmen Griffith gibt als Erganzung zu Hugels Bericht eine Reihe von eigenen Versuchsergebnissen bekannt. Er beobachtete, daß bei der Hydrierung von Naphthalin bei Gegenwart eines Molybdan-Katalysators, 110 at Anfangsdruck und 420° C fast nur Tetralin gebildet wird, wahrend bei höheren Temperaturen vermehrte Gasbildung auftritt, ohne daß Dekalin in großerer Menge entsteht, an seiner Stelle findet man Benzol, Toluol und Xylol Das Naphthalin nimmt also unter diesen Bedingungen eine Mittelstellung ein zwischen dem Verhalten, wie es Hugel beobachtet hat, und dem bei der Hydrierung bei niedriger Temperatur bei Gegenwart von Nickel. Weitere Untersuchungen in dieser Richtung wurden mit 3 Gasölproben von verschiedener Zusammensetzung ausgefuhrt.

Oshima-Japan und *Haidegger*-Ungarn machen weitere interessante Angaben uber die Anstrengungen erdolarmer Lander zur Herstellung von Öl aus anderem Rohmaterial als Erdol, ersterer durch ergänzende Angaben zu Bericht 422 des Japanischen Nationalkomitees uber die Ölschiefer-Destillationsanlagen in Fushun, letzterer durch Bekanntgabe der Kohleverflussigungsarbeiten in Ungarn.

Dunstan-England gibt noch einige erganzende Angaben zu der von ihm eingereichten Bericht 62 bekannt

Gesamtergebnis der Diskussion

Der Verlauf der Sitzung ergab dasselbe Bild, wie die eingereichten Berichte es bereits angedeutet haben. Das Hauptinteresse der Fachwelt konzentriert sich auf die Beschaffung von Öl aus anderen Rohmaterialien als Roherdol und auf die Herstellung größtmoglicher Ausbeute der z. Zt geschatztesten Ölsorten, der leichtsiedenden Treibstoffe.

Ansätze zu grundlegenden Neuerungen auf dem Gebiet der flüssigen Brennstoffe waren nicht erkennbar.

Result of Discussion

The course of the meeting reflected practically the same features as those indicated in the papers. Chief interest of the branch centred round the extraction of oil from rawmaterials other than crude petroleum and round the procuring of the biggest possible yield from the at present most popular classes of oil, the fuel oils of low boiling point.

No evidence was forthcoming of fundamental changes on the field of liquid fuels.

Résultat de la discussion

Le cours de la séance a confirmé le contenu des contributions introduites par écrit L'intérêt principal des spécialistes se concentre sur l'extraction d'huiles en partant d'autres matières premières que le pétrole brut et sur l'obtention du plus haut rendement possible des sortes d'huiles les plus estimées actuellement, les huiles à bas point d'ébullition. Dans le domaine des combustibles liquides on n'a pu reconnaître aucune disposition quant à des nouveautés fondamentales

Section 29

ORTSFESTE VERBRENNUNGSMOTOREN UND VERBRENNUNGSMOTORFORSCHUNG

STATIONARY INTERNAL COMBUSTION ENGINES AND RESEARCH WORK IN THIS CONNECTION

MOTEURS À COMBUSTION INTERNE FIXES ET RECHERCHES DONT ILS ONT FAIL L'OBJET

Vorsitzender — Chairman — Président

Prof. Ing. P. Ostertag (Schweiz)

Stellvertr Vorsitzender — Vice Chairman — Vice-Président

Ing. E. Mathieu (Belgique)

Beisitzer — Assistant — Assesseur

Ing. M. Gercke (Deutschland)

Generalberichterstatter — General Reporter — Rapporteur Général

Prof. Dr.-Ing. A. Nägel (Deutschland)

United States of America

Development of the Stationary Diesel Engine under the Conditions of American Power Economics

American Society of Mechanical Engineers

J. Kuttner

It seems only natural that rich economic returns generally harvested in America from cost-saving power plant equipment should have strongly stimulated the manufacture of Diesel engines in this country, whose aggregate yearly output, recently exceeding 400000 h.p per annum, eclipses that of every other country [1][1]. America also anticipated Europe with the first commercial application of the Diesel engine [1][1] notwithstanding the fact that this form of motor was conceived, developed, and first brought to the marketable stage on the Eastern shores of the Atlantic. With ample evidence pointing to America as offering a generally more favorable economic environment for commercial uses of the Diesel engine, it would also at first seem natural to expect that advances in the technique of design should have been correspondingly stimulated.

As the biologist tries to find circumstantial relationships between the species which he studies and the environments in which he finds them, so the student of American power plant Diesel engine designs might endeavor to correlate broadly the economics of power generation with the varieties of Diesel engine designs found in this industry. With a full realization of the shortcomings of this general procedure, it has nevertheless been adopted because it seems to offer the only possibility of obtaining a broad perspective within the limitations of a paper of this length Biologically speaking, the environment which produces the highest types is the one which is not quite hostile enough to prevent the survival of the species On the other hand that environment which permits of a relatively easy survival does not always put the necessary premium on the development of the "highest" types, but in all cases the definition of such terms as "highly-developed", "fit", or "advanced" must remain relative to a particular environment Engines which might be so designated from the European viewpoint might be quite useless in the American economic scheme Actual experience with some complicated designs imported from Europe substantiates this and confirms the wisdom of examining American economic conditions first before

[1] See Bibliography

attempting to interpret the designs of power plant Diesel engines which are surviving in them.

Where the Diesel engine has triumphed over competitive sources of power in America, it has generally done so by wide margins, which have tended to obliterate distinctions among oil engine types. In other situations, where there was little chance for the Diesel engine to compete, no amount of refinement in design or improvement in fuel economy could make it capable of doing so. In the opening years of the century, when a flourishing business could be done with almost any kind of an oil engine in competition with non-condensing steam engines and when less than 5% of American manufacturing plants purchased electric power from central generating stations, this was particularly true. More recently, since American manufacturing plants have been 75% electrified, analogous conditions are observed Rates charged for public utility power [2] vary within wide limits (4.18 cents per kWh in New Jersey and 1.06 cents in the adjacent state of New York) and it has generally proven to be imperative for oil engine manufacturers to spend their money on sales promotion in territories where oil engines could be sold, rather than on developing refined designs which would never have a competitive chance in the low-rate territories no matter what technological advances might be incorporated in them. Briefly stated, the number of marginal instances where excellence of design could swing a sale in favor of Diesel engines is too small a proportion of the total number of cases which favor the Diesel engine either overwhelmingly or not at all.

In the parent country of the Diesel engine, on the other hand, the marginal economic case seems to have been of dominating influence from the very beginning, and all indications point to its still affecting the trend of European Diesel engine development. According to Dr. Diesel's original conception, to be sure, most of the competition from other known forms of prime mover was to be eliminated by the use of cheap coal dust in an internal combustion engine, but the impossibility of realizing this and the consequent necessity for the European Diesel engine to burn oil immediately threw it into life-and-death competition with other sources of power. In Germany, especially, no appreciable quantities of crude oil occur naturally, while duties are imposed on the importation of liquid fuels.

The contrast with the European situation as regards Diesel power and the American one has therefore always been a strong one, and is the most important one to bear in mind when considering the fate of the majority of licenses arranged between European and American firms for the manufacture of Diesel engines. The older designs for European Diesel engines for which licenses were first granted in America were the product of an economic environment differing profoundly, as already mentioned, from the environment into which they were transplanted. Few of the early license takers therefore followed the designs of the licensing firms with fidelity, a practice which frequently raised the question as to what the license fees were being paid for anyway. This situation,

however, has undergone a significant change in the case of some designs licensed from abroad in more recent years, because a number of European firms have brought out simplified designs which are more in harmony with American economic requirements and which permit of stricter adherence by license takers. A most interesting development of the past few years has also been the successful competition of simpler American designs with European models in relatively backward countries like Asia and parts of South America [3]. The usual procedure has been reversed by the granting of licenses for these machines to European firms and in view of the profound bearing which this may have on a comprehensive estimate of the situation, it will be further treated in later paragraphs. Generally speaking, however, license arrangements have not worked out as anticipated: European firms often showed insufficient appreciation of American marketing conditions and manufacturing costs, while American manufacturers did not always fully grasp what many features of the licensed designs were intended to accomplish.

In addition to those two classes of American Diesel engine builders who followed European licenses exactly and who used them with liberal modifications there are two further groups of American oil engine builders: those who copied European models without license arrangements and those who developed designs of their own. Complexity and confusion in the patent situation has substantially eliminated the legal patent as a basis for defining licenses for oil engines; and some special conditions prevailing in the American market added notably to the freedom with which the small manufacturer could operate. The oil engine originally got its foothold in the territory of the small power user, who finds a large number of diverse applications for it. Small oil engine manufacturers have generally found it possible to cater to such users with designs exhibiting wide variations in the details of construction, apparently the only common feature being the injection of liquid fuel during the latter part of the compression stroke and the establishment of ignition temperature by means independent of energy sources outside of the cylinder. This rather inclusive definition of the "Diesel engine" clearly reflects the broad basis on which oil engines were developed in America. It also reflects significantly that many American developers and users had little interest in refinements going beyond the two fundamental oil engine characteristics: compression of pure air and automatic ignition

Almost any small machine shop could turn out an engine conforming to these two specifications, and a sufficient number of small users like cotton ginners and cultivators of irrigated farms with pumping plants could generally be found to provide a market for them. Although these more or less rudimentary engines naturally have little significance from the viewpoint of design progress, they did have a strong indirect effect on the latter because of competitive conditions. As will be further outlined in what follows, the American power user is not inclined to discriminate patiently, and it not infrequently happens that rough

engine types satisfactory for agricultural and minor industrial uses spoil the sales for the manufacturer who is offering a well-developed engine to a customer whose more exacting power requirements demand it. Conditions of this kind have to a certain extent robbed the manufacturer of high-grade machines of his incentive to spend money on research and development, while actual and potential competition of cheap engines has impeded an exact following of relatively expensive European-license designs by American manufacturers.

Emphasis on sales, rather than on niceties in design, has been forced by intensive price competition upon American Diesel engine manufacturers, of whom there is a rather large number Approximately 38 firms divide among themselves the business of selling about 400000 h.p. in Diesel engines per year, so that the gross average allotted to each one is only a little more than 10000 h.p., representing a gross income of about $ 550000 for each one. This figure is not altogether representative, however, in view of the fact that one manufacturer in the group sells more than 160000 h.p. per year, with the result that the remaining 37 have only about 240000 h.p. to divide among themselves. The situation is clearly reflected in the declining prices obtained for oil engines per horsepower. These were $ 93 in 1921, $ 68 in 1923, $ 54 in 1925 and $ 55 in 1927, as computed from the U. S Census of Manufacturers. The imposition of a high protective tariff on Diesel engines imported from Europe naturally prevents these prices from declining still further.

Recently there has been formed the Diesel Engine Manufacturers Association, with headquarters in New York City Though including only 12 members, the latter represent approximately 90% of the Diesel engine production of the country and may conceivably grow into an organization with considerable influence. Owing to the comparatively recent date of its inauguration, it is too early to look for substantial results, initial activities having necessarily been devoted to minor rather than major issues arising among the membership It is not beyond the bounds of possibility that the Association may ultimately succeed in influencing the distribution of particular types of oil engines to customers whose requirements they fit best. At the present time there is not much selective influence of this kind, while the largely accidental conjunction of engine types and power users' requirements is one of the factors which retard technological advancement.

The first cost of the Diesel engine is apparently the thing which the American power user understands best about it. He is apt to be indifferent not merely to technical questions affecting the generation of power, but even to the question as to what it will cost him over a long therm of years. At all events many observers have gained the impression that the majority of private power users lack aggressiveness in reducing their power costs, preferring to devote their energies to those other phases of their undertakings which offer greater opportunities for increasing profits than the power budget. Support for this view may be found in the U. S. Census of Manufacturers for 1927, from

which it is apparent that aggregate costs for fuel and power, amounting to $ 1897338000 constitute a relatively small percentage of the value which the manufacturing operations add to the material handled, this increment in value being $ 27585210000. The money expended for fuel and power is only 3,31% of the total value of the articles manufactured, namely, $ 62718347000. It is to be borne in mind, of course, that these comparisons include expenditures for fuel consumed to produce heat, a process on which Diesel power naturally has no direct bearing A large number of plants require steam both for power and heating, but the supplementary use of Diesel power to improve the balance for these two requirements only began to receive attention a relatively short time ago and the still unused opportunities for profitably applying Diesel engine in this manner are considered large But the most important conclusion which seems to be justified by the figures cited here is that the importance of cheap power in America has been overemphasized It tends to support the belief that the American power user finds this expense a relatively small item in his total budget with the result that his interest does not reach very far beyond the reading of his wattmeter. Certainly it would seem to destroy much of his interest in the technicalities of Diesel engine design and in questions like those involved in the working-out of license arrangements between American and European oil engine manufacturers

It was not until 1919 that the American Department of Commerce (Bureau of the Census) apparently took notice of the fact that a generation of oil-engine building in America had gone before, and even then, it is not clear whether the officials did not classify it merely as some special variation of *gas engine*, this being the practice still followed by the Bureau of Navigation. However, the category *Diesel engine* was included in the enumeration of 1919 for the first time. The Bureau of the Census apparently takes no responsibility for the meaning of the terms which it uses for enumeration, leaving it entirely to the initiative of the particular manufacturer as to whether he wishes to report his product under the heading printed on the Census questionnaire It might have been reasonable to expect that the use of the term "Diesel engine" by the authorities without definition might automatically have restricted the count to the output of those manufacturers of the strictly classical Diesel engine with air-injection and pure compression-ignition, but the 1919 Census returns actually include the horsepower of small Brons-type horizontal oil engines built in the State of Indiana for distribution by a large mail-order house. Consequently this state, in which no orthodox Diesel engines were produced is ranked third among the states of the Union in 1919 [8], while other states with a considerably larger production of oil engines, hardly appear in the count at all

Lack of agreement among American manufacturers as to what constitutes a Diesel engine is also a factor in hindering attempts at counting aggregate horsepower produced Most noteworthy is the attitude of the manufacturers of oil engines under license from W. T. Price, who for some time maintained that they build not Diesel engines but oil

engines. Information is lacking as to whether these builders refused to include their totals under the "Diesel Engines" heading in Census questionnaire. The greatest obscurity concerns the aggregate horsepower of oil engines produced in earlier years, which would very probably bring the aggregate now in existence materially higher than the more or less official totals now available. On the basis of this reasoning, "Oil Engine Power" [5] estimates that American oil engines in all services now total approximately 6000000 h p. and that they are increasing at an average rate of 500000 h.p. per year.

The most important figure available from the United States Census to provide a general background for estimating the part played by Diesel power is the total horsepower, 39045756, installed in the manufacturing industries of the United States. A comparison of the Diesel engine horsepower figure, 6000000, cannot be directly made partly because of its somewhat speculative character and partly because it includes engines for transportation and marine propulsion, the latter being of course excluded from the Census' total for primary horsepower used in the manufacturing industries. Apparently the only feasible method of comparing total Diesel engine horsepower in the United States with the total of all primary (excluding automotive and locomotive) power would be to add to the manufacturing horsepower, 39045756, the amount used for the propulsion of documented American merchant vessels, the tonnage of which is 13300836 and whose horsepower is 9443324. This would bring the total primary horsepower used by American citizens to 48489080. Depending on the value assigned to the total Diesel power and on the method of defining it, its percentage of the total would stand somewhere between 5 and 12%.

As one of the largest actual and potential users of Diesel engines in the United States, the electric generating industry would appear to be the one most prominently held in view by American Diesel engine designers. It is estimated [6] that 20,5% of all the Diesel engines manufactured in America are used in central generating stations, and if to this quantity be added the engines employed in private industrial plants for generating their own electricity, the result would be that about 40% of the total American Diesel engine output is devoted to the production of electric current. It must be recalled, however, that outside of governing, the electric generator drive imposes no special conditions on Diesel engine design. The biggest American market for Diesel engines is therefore also the one which does not make the maximum demand on the designer's skill.

Practically 75% of the power used in American manufacturing establishments is applied through electric motors [7], some of which are operated by current from prime movers owned by the establishments, while the remainder are run on current purchased from outside sources. Generally speaking, the choice confronting the user of the electric motors resolves itself into the selection of an outside purveyor of current, the construction of his own prime mover with power other than Diesel, or building a Diesel installation. As far as settling the question

in an individual plant is concerned, the enormous spread of public utility generating systems has greatly simplified the choice, because the records of the individual's payments for power are generally incontrovertible. Users of power who already possess steam plants, particularly those who must raise steam anyway for industrial requirements have a more complex situation to face whenever the demand for exhaust steam falls below the yield of turbines or uniflow engines operating at the capacity demanded by the power load. The latter cases, as already noted, offer a certain opportunity for increasing the use of Diesel engines, but beyond this it would be difficult to generalize on account of the great complexity of factors entering into individual cases.

For the purpose of this paper it will therefore be necessary to confine attention to the cost of the kilowatt-hour purchased from the public utility and the kilowatt-hour placed on the consumer's switchboard by means of his own Diesel-driven generators

Construction of Diesel engines in the United States has for some years suffered from the disturbing effect of public utility competition, the potentialities of which will undoubtedly have been made amply clear in other papers presented at this Conference. In some localities the rates charged for current by public utility companies is so low that the Diesel engine salesman has no inducement whatever to offer to the buyer of electric power. In that portion of New York State, for instance, which is served by the Niagara Hudson Power Company the revenue received per kWh sold during 1928 was 1 06 cents. The Public Service Corporation of New Jersey in a contiguous state exacted 4.18 cents per kWh [2]

Throughout the United States current was sold at an average rate, during 1928, of 2.64 cents [2]. Altogether 84295427000 kWh were generated, but only 68104555000 kWh were sold, the difference being accounted for by transmission losses and the public utilities' own requirements. The revenue received for current disposed of was $ 1805374000, which corresponds to the rate given above With operating costs amounting to $ 1,045438000 the gross generating cost was 1.243 cents per kWh, and the net, based on current actually sold, 1.536 cents.

Operating cost data, not including capital charges, for 27 representative Diesel engine plants have been compiled by a subcommittee of the Oil and Gas Power Division of the American Society of Mechanical Engineers for 1928 [8] and show an average of 0.874. *F. W. Martin*, Statistician of Sargent & Lundy Inc., consulting engineers of Chicago [9] reports Diesel engine generating costs ranging from 0.648 cents to 1 036 cents, the average agreeing closely with that found by the A. S. M E. committee

There are few localities throughout the United States where the competitive margin between Diesel power and public utility power is definitely established, based on the amount of profit which the public utilities can exact subject to a degree of governmental control which is not altogether stable either as to locality or time. Nor is there altogether strict enforcement of the rule against discrimination, so that a

power purchaser frequently obtains rates below the prevailing ones merely by making a gesture towards the installation of Diesel engines. If a real deflation of public utility and holding company finances should ever take place and rates be brought in line with the true economic value of the service, it is unlikely that the use of Diesel engines for electric power generation would persist very long except in altogether special instances.

One of the most disturbing elements, from the viewpoint of Diesel engine construction, is the steady decline in electric rates throughout the country [10], witness the $2^1/_2$% decrease, from 2.64 to 2.57 cents, as between the average for 1928 and the first nine months of 1929. Prospective customers for Diesel generating sets will frequently defer purchases in the expectation of lower electric rates, while Diesel engine manufacturers often hesitate to spend money on new design work.

With anything like an even race between Diesel power and purchased electric power it might be expected that the competitive stimulus would lead to rapid advances in design, but that is the very thing which is lacking In localities with high prevailing electric rates the sales of Diesel engines more or less take care of themselves, generally under conditions of strenuous price competition among the various manufacturers. In low-rate localities the Diesel engine is given almost no consideration, except in very special situations like those occurring in the operation of spinning mills, where voltage fluctuations on exposed transmission lines cause damage. After a textile firm had lost $ 30000 worth of silk in one year from causes of this kind it was not difficult to sell them Diesel engines. Generally speaking, there are few marginal cases free from major uncertainties such as the possibility of rate changes, where the manufacturer could accomplish something by improving his design. Moreover, the American purchaser, primarily attracted to the Diesel engine as a relief from oppressive rates, is hard to interest in refinements of design, much less in variations of specific fuel consumption. Several times as many Diesel engines with a consumption rate of 0.46 lbs /b.h.p. have been sold as machines with 0.42 lbs. consumption. Minutiae of this kind have no appeal to a purchaser whose savings from Diesel power are frequently counted by the tens of thousands of dollars per year and who frequently believes that the refinements of economy indicate a lack of operating robustness. The situation is in marked contrast to the European Diesel engine market, which is strongly appealed to by relatively small reductions in fuel consumption, and which has therefore actively stimulated competition in the design of ultra-economical Diesel engines.

It would be difficult to establish a direct causal relationship between the economic setting sketched in the preceding paragraphs and the features found on specifically American designs, but it seems quite certain that simplification of the Diesel engine has been emphasized. This has manifested itself in determined efforts to solve the problem of airless-injection, and of producing two-cycle engines, lacking the complications of valves and valve-gear.

The outstanding American contribution to the development of airless-injection is the Price system, now so well established that full descriptions of it can be found in the majority of modern European text books on Diesel engines [11]. It will be recalled that this machine embodies displacer-piston and precombustion-chamber features, with exhaust valves located inside the latter, but its most significant trait is considered to be its low-pressure fuel spray arrangement with dual opposed jets. In the days of the World War, when the airless-injection engine was still in its early stages, the Price system constituted a notable advance, and up to Jan. 1, 1930, one licensee of Price has sold 5730 units aggregating 467000 h.p. and valued at $ 23350000 [12]. This machine has a large sale in South America, some foreign operators in that territory purchasing the Price machines exclusively They can obtain "more advanced" European models at lower prices, but the industrial status of South America apparently makes the Price engine better fitted to survive.

It would of course be hazardous to give the Price system an unqualified endorsement, in view of some of the limitations which will probably prevent it from being adopted for machines of larger power and from attaining the mean pressures and piston speeds of competitive systems. The licensee referred to in the preceding paragraph is already developing an open-chamber airless-injection Diesel engine showing the Hesselman influence to be offered in those markets where the rather low rating factors of the Price engine tend to make it con-competitive. For it must be recalled that the location of the valves within the pre-combustion space limits their size and the attainable piston speed; the low-pressure fuel sprays, though greatly simplifying fuel pump mechanism and maintenance, require greater excesses of air for combustion than those of the high-pressure type. Finally the neck of the chamber has an adverse ratio of heating-surface to water-cooling surface, so that local concentration of heat with an inclination to crack at that point cannot be fully avoided. The latter of course, is especially prominent in the machines of larger cylinder bore. Nevertheless the Price engine continues to show high stamina in the American and several foreign environments, and the limitations cited cannot deprive it of the distinction of being one of the first thoroughly successful commercial embodiments of the airless-injection principle.

It is the Price engine which is now also being manufactured under an American license in Europe. This rather dramatic reversal of the flow of influence from Europe to America is considered highly significant. Recently several of these machines were shipped from the Belgian factory to a purchaser in China, where they are undoubtedly showing a survival value superior to that of European engines capable, when properly attended, of developing higher ratings and probably also costing less to purchase.

More than half of the power plant Diesel engines in the United States are of the two-stroke cycle, and of these the majority operate with crankcase compression. A serious group of troubles encountered with

these machines is due to lubricating defects, attributable to the impossibility of using continous pressure oiling inside the air-pumping crankcase. Still more questionable have been the combustion systems applied to these machines, which have never operated smoke-free and which have accentuated lubrication difficulties by the formation of greater quantities of soot than would ordinarily be considered representative of good Diesel practice. The combustion chambers of these machines have until recently had the usual constricted neck working in conjunction with low-pressure fuel sprays of a type which have not been materially modified since the preceding century. Probably the basic difficulty with these two-cycle crankcase compression machines has been due to the use of simple pre-combustion chambers with high compression for cylinder sizes too large to be effectively served by this system. Parallel to the lubrication difficulties has been an inclination towards frequent exhaust pipe fires, requiring special provisions to prevent the engines from becoming obnoxious in residential districts.

Machines of this type have a proper place in less exacting power services characterized mainly by poor attendance labor, but their preponderant use for central station work would at first sight seem to bear out what has been said on an earlier page regarding the hiatus between engine characteristics and power service requirements. Within the last few months, however, judgments of this kind have been rendered questionable by a rather far-reaching improvement made on the crankcase-compression machines. Simple combustion spaces have been fitted with high-pressure differential spray valves, so that the fuel consumption has been brought below 0.38 lbs./b.h.p.h., combustion has been cleaned up, and lubrication conditions made to approach those characteristic of the best Diesel practice. The latter development illustrates the need of caution in attempting to use American power economics as a key to technical progress.

The use of a separate scavenging pump is seen as a further significant change in the two-cycle engines of the general class referred to above, whose freedom from valve-gear complications and minimum demands for operating skill will in all probability cause them to hold their leading position among American power plant Diesel engines. The separate pump, of course, is not an original departure, but it permits of using force feed continuous lubrication. This has been seized upon as the basis for a rather striking piston and cylinder construction, a reference to which has already found its way into one of the German text books [13].

Although the engine has trunk pistons, good separation between the working cylinder and the crankcase is effected by the use of a series of rings surrounding the piston, whose length is such that it is surrounded by the scraper rings at all points in the stroke The latter have beveled edges so arranged as to scrape the oil off the piston into a separate space isolated from the crankcase, with the result that the burning of the bearing oils is reduced, while the seepage of combustion products into the latter is practically eliminated. The general effect of the

design is to provide the equivalent of a crosshead engine, and to give good lubrication for longer periods than would be obtainable with plain cylinders, particularly in a two-cycle engine.

The piston construction of this engine is also interesting. The crosshead and pin are carried in a separate holder, over which the shell of the piston is drawn after assembly. Split bearing caps for retaining the wristpin in the holder make it unnecessary to use a sledge hammer while assembling or dismounting the latter. At the same time the piston shell rests on the holder with a simple circular flange giving good stress transmission without the distorting effect of a wristpin force-fitted into heavy bosses. The space between the wristpin holder is used for the circulation of piston cooling oil supplied from the drilled connecting rod in the conventional manner. The upper part of the piston holder is so shaped as to guide the flow of oil positively under the crown, whence it is led into a guide tube which drops it into an outlet separate from the circulating oil system.

The symmetrical integral shell of the piston and the isolation of cylinder lubricating oil from the remainder of the system have given this construction unusual durability under severe operating conditions, and is regarded as conferring on American designers the distinction of having made an outstanding success of the trunk piston two-cycle engine where practically all others have been forced to make only limited use of this type. It is now being sold in sizes up to 1000 h.p. and promises to become widely adopted.

It has been necessary to omit from consideration a number of American Diesel engines for marine and non-stationary use. There are many instances where the progress in these fields has outstripped that made with engines for stationary power service. Even the examples cited from the latter portion of the industry are far from giving a complete cross section of the progress made. They are believed to illustrate, nevertheless, how an economic environment which is not in all respects ideal from the viewpoint of the intrinsic nature of the Diesel engine, can produce design forms of enduring value.

Zusammenfassung

Mit dem Hinweis auf Amerikas führende Stellung als Herstellerin von Dieselmotoren schätzt der Verfasser, welchen Einfluß das wirtschaftliche, durch ausgiebige Fabrikation gekennzeichnete Milieu auf die Entwicklung der Entwürfe erwarten läßt. Die Verhältnisse, unter denen die Dieselmotoren in Amerika abgesetzt werden, sind unter Berücksichtigung der Elektrizität und der Dampfkraft sehr verschieden.

Krafttarife sind im Bereiche der Vereinigten Staaten sehr veränderlich, und in den Gebieten der hohen Tarife sind die durch Dieselmotoren zu erzielenden Ersparnisse so groß, daß geringfügige Unterschiede der Typen im Betriebe nicht schwer ins Gewicht fallen

Es ist fur die Mehrzahl der Dieselmotorenbauer unumganglich geworden, ihre Tatigkeit hauptsächlich dem Absatz zu widmen, anstatt sich mit der weitgehenden Entwicklung neuer Typen, die höchstens nur einen kleinen Prozentsatz der Verkaufsmöglichkeiten beeinflussen konnten, in Unkosten zu sturzen Dieselben Ur-

sachen, welche den Schwerpunkt von der technischen in die kaufmannische Ausbildung versetzt haben, werden als Ursache für weitgehende Änderung der aus Europa unter Lizenzabkommen importierten Typen angefuhrt.

Es wird jedoch darauf hingewiesen, daß man in spateren Jahren geneigt war, Lizenzen fur einfachere europäische Typen, an denen entsprechend wenig geändert werden mußte, zu ubernehmen. Betont wird ferner, daß europäische Motorenbauer von amerikanischen Firmen, die ihre eigenen Typen entwickelt haben, Lizenzen übernommen haben. Es wird hervorgehoben, daß die letzteren in Gebieten wie Sudamerika und China mit europäischen Herstellern von komplizierten, wenn auch billigeren Motoren erfolgreich konkurrieren.

Das Fehlen einer gut ausgeprägten Gattung von amerikanischen Motorentypen wird auf zwei Momente zuruckgefuhrt: vorwiegende Beschäftigung der Hersteller mit kaufmannischen gegenuber technischen Angelegenheiten und Gleichgültigkeit in bezug auf die Kraftbeschaffung oder gar auf die Unkosten derselben seitens der Kraftnehmer Auf die außerordentlich einfachen Grundlagen des Dieselmotors: Verdichtung reiner Luft und Selbstzundung, wird das Vorhandensein einer großen Anzahl kleiner Hersteller von wenig entwickelten Typen für den Bedarf der Kleinindustrie zuruckgefuhrt. Zahlen vom U. S. Census werden zitiert als Beweis, daß die Ausgaben der amerikanischen Industriellen fur Brennstoff und Kraft nur 3,31% des Wertes der Erzeugnisse betragen, mit der Schlußfolgerung, daß die Wichtigkeit der billigen Kraft in Amerika zu stark betont worden sei.

Es wird nicht versucht, ein direktes Kausalverhältnis zwischen dem wirtschaftlichen Milieu und den darin vorgefundenen Motorentypen aufzustellen. Jedoch werden einige hervorragende von amerikanischen Konstrukteuren zum Dieselmotorenbau beigetragene Typen zitiert als Beispiele der aus den wirtschaftlichen Verhältnissen erwachsenen Motorentypen, welche eine hohe Widerstandsfähigkeit aufweisen ,

Bibliography

[1] "American Developments in Diesel Engines" by *L H. Morrison* and *E J. Kates*, World Power Conference Paper, Tokio, Japan, 1929

[2] Testimony of *Floyd L. Carlisle*, Chairman, Niagara Hudson Power Corporation, before a Commission of Inquiry of the New York State Legislature, December 26, 1929; New York Times December 29, 1929.

[3] Private Intelligence from Ingersoll-Rand Co., 11 Broadway, New York, N. Y.

[4] "Thirty Years of the Diesel Engine" by *L. H. Morrison*, "Power", March 19, 1929.

[5] "Oil Engine Production in the United States" by *J. Kuttner*, "Oil Engine Power" Vol VII, No 8, August, 1929.

[6] "Oil Engine Power Plant Handbook", Fifth Edition, p. 212.

[7] "American Industry 74,4 Per Cent Electrified", by *R. M. Davis*, "Power" Jan. 1, 1929, p. 21

[8] "A. S. M. E. Reports on Diesel Operating Costs" appearing in "Oil Engine Power" Vol. VII, No 7, p 407

[9] "The Diesel Engine—Its Place in Industry" by *F. W. Martin*, "Journal of the Western Society of Engineers" Vol. XXXIV, No. 12, December 1929, p 704

[10] "Operations of the Electric Light and Power Industry During September 1929" appearing in "N E L. A. Bulletin" Vol. XVI, No 12, December 1929, p 796.

[11] "Öl- und Gasmaschinen", *Dubbel*, 1926, Julius Springer, Berlin, p 237.

[12] Private Intelligence from I P. Morris & De La Vergne Co., Philadelphia, Pa

[13] "Fahrzeug-Dieselmotoren", *Thiemann*, 1929, Schmidt & Co., Berlin.

Tschechoslowakei

Wirtschaftlichkeit des Dieselmotors

Tschechoslowakisches Technisches Komitee

Ing. J. Pečirka

Der hohe thermische Wirkungsgrad des Dieselmotors rief das Bestreben hervor, diesen Motor für die mannigfaltigsten Zwecke zu verwenden. Die Forderungen, welche in Hinblick auf die Verwendung an den Dieselmotor gestellt wurden, waren bestimmend für die Entwicklung der Bauart dieser Maschine. Damit waren Richtlinien für die Schaffung einzelner Arten gegeben, welche aber unbenutzt blieben infolge der Bestrebungen der Dieselmotoren erzeugenden Firmen, einen Typ zu konstruieren, der sich fur moglichst viele Zwecke eignet.

Nach der Verwendung kann man im ganzen drei Arten von Dieselmotoren unterscheiden:

a. Motore für Schiffsantrieb.

b. Motore für Antriebe von Fahrzeugen und Flugzeugen.

c. Ortfeste Motore.

a. Die Entwicklung dieser Motore vollzog sich am raschesten, weil man bald die großen Vorteile, welche sie fur Schiffsbetrieb bieten, erkannte, die einerseits in der Erhohung der Nutzgeschwindigkeit, andererseits in der Erhöhung des Aktionsradius liegen. Ging die Verbreitung des Dieselmotors wahrend des Weltkrieges vielleicht sogar allzu rasch vor sich, so wurde hingegen in den ersten Nachkriegsjahren diese Entwicklung durch die Erwartungen, die man an die Hochdruckdampfturbinen hegte, vorübergehend gehemmt; heute jedoch ist die Einführung des Dieselmotors für Schiffsantrieb in dauerndem Steigen.

b. Die Verwendung des Dieselmotors fur den Antrieb von Flugzeugen und Fahrzeugen blieb vielmehr zurück, weil fur diese Zwecke bis vor kurzem ausschließlich Explosionsmotore gebraucht wurden, die sich hier durchaus bewahrten. In der letzten Zeit trat die Notwendigkeit auf, fur den Antrieb von Fahrzeugen Dieselmotore zu verwenden, welche wirtschaftlicher sind und mit einem um vieles billigeren Brennstoff arbeiten können. Der Vorteil des Dieselmotors für diesen Zweck beruht auch darauf, daß Naphta (Schwerol) nicht so entzündlich ist wie Benzin, was in der Luftfahrt fur die Sicherheit große Bedeutung hat.

Die konstruktive Entwicklung dieser Dieselmotore wird ihre Vervollkommnung in solchem Maße bringen, daß jeder andere Antrieb dann im Nachteile bleiben wird.

c Die Entwicklung der ortfesten Dieselmotore mußte dahin gehen, jenen hohen Anforderungen gerecht zu werden, welche durch die wirtschaftlichen Erfolge der heutigen Hochdruckdampfturbinen verwendenden Dampfzentralen gegeben sind.

Vergleiche zwischen der Wirtschaftlichkeit von Dampfkraftanlagen und Dieselmotoranlagen waren in den letzten Jahren Gegenstand eingehendster Studien, insbesondere in den deutschen Fachkreisen.

Bei Beurteilung der Rentabilität kommen folgende Posten in Betracht:

1. Amortisation und Verzinsung des Anlagekapitales.
2. Kosten der Energieerzeugung
3. Betriebskosten.

1. Was die Amortisation anbelangt, sind die Dieselmotoren gegenüber den Dampfturbinen in großen Zentralen etwas im Nachteile, weil ihre Einheiten keine so großen Leistungen geben. Gegenüber großen Dampfturbinen ist es nötig, mehrere Dieselmotore aufzustellen. Dabei aber hat die Zentrale mit Dieselmotoren im Hinblick auf Reserve Vorteile, denn für gesicherten Betrieb ist eine Reserveturbine gleicher Leistung notig, hingegen bei den Dieselmotoren nur ein einziges Aggregat kleiner Leistung, gemaß jener der einzelnen übrigen Maschinen.

Bei kleineren Zentralen ist die Anlage mit Dampfbetrieb gleich teuer, wenn nicht teuerer.

2. Betriebskosten, Personal, Erhaltung der Maschine usw. bewegen sich bei beiden Gruppen ungefahr in der gleichen Hohe.

3. Die Kosten der Energieerzeugung sind bei Dieselmotoren infolge des höheren thermischen Wirkungsgrades günstiger Der Vergleich der Summe dieser drei Posten ergibt einen klaren Überblick über die Rentabilitat der einen und der anderen Anlage. Wie ersichtlich, hat der Brennstoffpreis entscheidenden Einfluß bei einem Vergleich der Rentabilität beider Arten von Zentralen.

Daher kann die Frage nach der Rentabilität der Dampf- oder Dieselzentrale nicht allgemeingültig gelöst werden.

In der tschechoslowakischen Republik, wo große, unmittelbar bei den Gruben errichtete Dampfzentralen die Abfallkohle verwerten, sind diese Zentralen wirtschaftlicher, weil das fur Dieselmotoren notwendige Treiböl nicht im Lande vorkommt und mit teuerem Bahntransport eingeführt werden muß.

Der hohe thermische Wirkungsgrad des Dieselmotors verliert damit in der Tschechoslowakei wegen des hohen Brennstoffpreises seine wirtschaftliche Überlegenheit und diese Motoren werden hauptsachlich in Zentralen als Reserve und Spitzenmaschinen verwendet.

Erst dann, wenn der Brennstoffpreis in der Tschechoslowakei sinken sollte, oder wenn das Verfahren der Kohleverflüssigung bzw das Verfahren der direkten Einfuhrung von Kohlenstaub in den Dieselmotor wirtschaftlich brauchbare Erfolge erzielen wurde, kann an die Errichtung großer Kraftwerke geschritten werden, die auch die Grundbelastung mit Dieselmotoren decken, welche erst dann für die Erzeugung elektrischer Energie jene Bedeutung und Verbreitung erlangen werden, die ihnen zukommt.

Ortsfeste Dieselmotoren großer Leistungen

Die Verwendung des Dieselmotors als ortsfeste Maschine erfordert vor allem eine Steigerung der Zylinderleistung.

Die Erfahrungen mit den sehr vervollkommneten Schiffsdieselmotoren und die Bestrebungen der Werke, welche diese Motoren erzeugen, die gleichen Modelle auch für ortsfeste Maschinen zu verwenden, fuhrten zu der Einfuhrung der Schiffstypen auch für stationare Zwecke, wobei die Steigerung der Leistung der Einheiten durch einfaches Aneinanderreihen der Zylinder erreicht wurde.

Sollen die Großdieselmotoren in Bezug auf Rentabilität den Wettbewerb mit dem heute hochentwickelten Dampfkraftantrieb bestehen, so wäre es notwendig, in der Maschineneinheit die Zylinderleistungen moglichst zu erhohen.

Aus diesem Grunde kommt fur stationare Zwecke der einfachwirkende Viertaktzylinder nicht in Betracht

Auch einfachwirkende Zweitaktzylinder erwiesen sich nicht als vorteilhaft, weil nur jeder zweite Hub ein Arbeitshub ist, abgesehen von den Schwierigkeiten, welche die Schmierung des Kurbeltriebwerkes mit sich bringt.

Verfolgen wir die Entwicklung der heutigen Großdieselmotoren, so kann man sagen, daß die Leistungserhohung der Dieselmotoren dann am wirksamsten ist, wenn jeder Hub der Kurbel ein Arbeitshub ist. Dieser Forderung entspricht der doppeltwirkende Zweitaktzylinder oder der doppeltwirkende Viertaktzylinder in Tandemanordnung.

Den Bestrebungen fur schiffs- und ortsfeste Motoren die gleichen Modelle zu verwenden, entspricht der doppeltwirkende Zweitakt, welcher in den letzten Jahren besonders in Deutschland große Verbreitung gefunden hat.

Die Tandemanordnung des doppeltwirkenden Viertaktzylinders ist als horizontale Bauart mit Rucksicht auf ihre Vorteile fur ortsfeste Dieselmotoren die vorteilhafteste.

Der doppeltwirkende Zweitakt erzielte gute Erfolge, doch zeigten sich Nachteile, welche der Zweitakt und besonders die doppeltwirkende Ausfuhrung mit sich bringt.

Es sind dies vor allem die Schwierigkeiten mit den höheren Drehzahlen. Die Entfernung der Verbrennungsgase aus dem Zylinder und die Wiederauffullung mit Luft erfolgt durch Kanale im Zylinder am Hubende. Die Steigerung der Drehzahl zwingt zur Verlangerung der Kanale, welches auf Kosten des wirksamen Hubes geht. Die Kolbengeschwindigkeit kann daher nicht vergroßert werden, wie es bei Viertaktmaschinen moglich ist.

Ebenso stößt die Steigerung des mittleren indizierten Druckes infolge des Zweitaktes auf Schwierigkeiten, weil hier die Zylinder mindestens um 80% hoher beansprucht sind als beim Viertakt. Dieser Mangel wurde durch konstruktive Maßnahmen und Wahl des Werkstoffes zum Teil beseitigt, doch blieben noch Schwierigkeiten mit der Spulung der Zylinder, welche eine Erhöhung dieser Drucke verwehren.

Der Verbrauch an Zylinderschmieröl ist beim doppeltwirkenden Zweitakt außerordentlich groß. Es ist dies eine Folge davon, daß alle Kolbenringe über die heißen Auspuffkanäle hinweggleiten müssen. Dieses Umstandes wegen leiden nicht nur die Kolbenringe sehr, sondern auch die Kolben selbst.

Der thermische Wirkungsgrad ist im ganzen bei normalem Gang der Maschinen beider Systeme gleich. Bei sinkender Belastung jedoch haben Zweitaktmaschinen einen schlechteren Wirkungsgrad, weil die Arbeit ihrer Spülgebläse gleichbleibt.

Viertaktmaschinen, welche alle diese Nachteile nicht besitzen, sind auch günstiger, wenn es sich um Leistungserhöhung durch Vergrößerung des mittleren indizierten Druckes handelt.

Während es beim Zweitakt notwendig ist, die Spülluft und außerdem auch die gesamte Verbrennungsluft in den Zylinder mittels eines Hilfsgebläses zu drücken, genügt es beim Viertakt, bloß den Verbrennungsraum auszuspülen und die Aufladung am Ende des Saughubes durchzuführen.

Beim Zweitakt sind daher große Spülgebläse notwendig, während beim Viertakt zu diesem Zwecke ein kleiner Turbokompressor genügt, welcher evtl. durch die Auspuffgase angetrieben werden kann. Dieselben besitzen beim Viertakt eine weitaus höhere Temperatur, da durch den notwendigen Luftüberschuß die Auspuffgase des Zweitaktes stark abgekühlt werden.

Auch im Hinblick auf die Betriebssicherheit, Überwachung und Bedienung der Maschinen ist die horizontale Viertakt-Tandembauart den vertikalen Zweitaktmaschinen weitaus überlegen, bei denen wegen der Kolbenringe und des Ansetzens von Verunreinigungen (festen Rückständen) im unteren Teile des Zylinders Betriebsstörungen häufiger sind. Die Einfachheit des Viertaktes mit der Anordnnng der Saugventile oben, Auspuffventile unten, ohne irgendwelche Hilfskompressoren für Luft, hat schon bei den Großgasmaschinen eine solche Sicherheit und Verlaßlichkeit bewiesen, daß diese Viertaktbauart gerade für die wichtigsten Dauerbetriebe, wie auf Hütten, Walzwerken und Gruben, verwendet wird.

Der Einwand, die Anlagekosten für den liegenden Viertakt-Tandem seien höher als jene für den vertikalen Zweitakt, daß beim Viertakt zwei Zylinder einen Zweitakt ersetzen müssen, ist irrig.

An dem Zylinder der doppeltwirkenden Zweitaktmaschine sind die Luft- wie auch die Auspuffkanäle in der Mitte angeordnet. Der Kolben dieses Zylinders muß daher mindestens um die Breite der Kolbenringe längeren Hub besitzen, weil die an beiden Enden des Kolbens sitzenden Kolbenringe über die vorgenannten Kanäle hinweggleiten müssen. Die Länge des Zylinders beträgt daher mindestens 2 Hübe und ist demnach nicht viel kürzer als die zweier aneinandergereihter Viertaktzylinder. Die bei den Zylinderdeckeln erzielte Raumersparnis wird aufgewogen durch den Hilfskompressor, welcher, wie die jüngsten Ausführungen zeigen, am vorteilhaftesten nicht von der Maschine selbst, sondern mittels Elektro- oder Hilfsdieselmotor angetrieben wird.

Diese Vorzüge des Viertaktes bewogen in der Tschechoslowakei die Skodawerke in Pilsen, große ortsfeste Dieselmotoren als doppeltwirkende Viertaktmaschinen in Tandemanordnung zu bauen. Der einjährige Betrieb dieser Motoren, welche bisher mit 850 mm Zylinderbohrung, 1250 mm Kolbenhub bei 125 U/min eine Leistung von 1800 PS, zum Antrieb von elektrischen Generatoren ausgeführt wurden, entsprachen durchaus allen gestellten Anforderungen.

Das Gewicht dieser Maschinen beträgt ca 56 kg für 1 PS_e. Durch Anwendung der Leistungserhöhung wird sich dieser Wert noch bedeutend erniedrigen lassen.

Summary

The use of crude-oil motors for stationary plants depends on the price of oil If the price is high, it is usual to instal Diesel plants principally for taking peak loads and as reserve sets.

The use of crude-oil motors for large power stations requires an increase in the power of the single units. This can be effected when each stroke of the crank shaft is a working stroke. Since double-acting two-cycle cylinders present many drawbacks, the Skoda Works in Pilsen have adopted, for large units, two four-stroke cylinders working in tandem on a common shaft. These engines have proved much more reliable in continuous service than the multi-cylinder two-stroke type.

Tschechoslowakei

Großgasmaschinen in der Tschechoslowakei

Tschechoslowakisches Nationalkomitee

C. Macháček

Das Bestreben, Gase von hohem kalorischen Werte unmittelbar in Energie umzuwandeln, führte zum Bau von Explosionsmotoren, die zunächst in relativ kleinen Einheiten mit Leuchtgas bedient wurden. Erst in weiterer Folge ging man zur Ausgestaltung von größeren Einheiten, wobei Gase von kleinerem kalorischen Wert, jedoch in größerem Ausmaße, nutzbar gemacht werden sollten.

Dadurch wurde das Schwergewicht im Bau von Großgasmaschinen auf solche Verwendungsgebiete gelegt, bei denen die Aufgabe gestellt war, Gase, die als Nebenprodukt anfallen, dienstbar zu machen. Solche Großgaserzeuger sind die für die Erzeugung von Roheisen in Verwendung stehenden Hochöfen.

In der Tschechoslowakei ist mit folgenden größeren Hochofenanlagen zu rechnen:

Die Hochofenanlagen der Berg- und Hüttenwerks-Ges., Třinětz,

die Hochofenanlagen der Prager Eisen-Industrie-Gesellschaft in Kladno und Königshof und

die Hochofenanlagen der Witkowitzer Berg- und Hüttenwerks-Ges. in Witkowitz.

Der in den Hochöfen sich vollziehende Reduktionsprozeß arbeitet heute mit einem Überschuß von Brennmaterial, d. h. der den Hochöfen zugebrachte Koks wird nicht ganz zur Reduktion und Flüssigmachung der Erze bzw. des Roheisens verbraucht, sondern geht teilweise in den Gichtgasen als Kohlenoxyd ab.

Diese Gase mit einem Gehalt von 27 bis 30% an Kohlenoxyd kalorisch und wirtschaftlich auszunützen, ist Aufgabe des Konstrukteurs für den Großgasmaschinenbau geworden.

Die gegenwärtige Form des Betriebes bei Hochofen fordert die Zubringung von Gebläseluft von rd. 2 at und den Antrieb von Hilfseinrichtungen durch Elektromotoren Im Bereiche des Hochofenbetriebes ergeben sich daher Gasmaschinen für die Erzeugung von Gebläseluft und Gasmaschinen zum Betrieb von Dynamos.

Zur wirtschaftlichen Ausgestaltung dieser Maschinen sind Maschinen mit größeren Zylindereinheiten nötig. In der Kombination dieser Zylindereinheiten entweder als Tandem- oder als Zwillings-Tandem-

Maschinen ergeben sich dann auch die Größenabmessungen für den Gebläsezylinder oder die Dynamomaschine. Der heutige Stand der Technik im Bau von Großgasmaschinen führte zu der Schaffung von Zylindereinheiten bis über 2000 PS, welche Leistung durch entsprechende Ausgestaltung der Steuerung mit Spülluft, durch zweckdienliche Anordnung der Zünder usw. erzielt wurde.

Die Gasmaschinengrößen für den Antrieb der Gebläsemaschinen mußten sich naturgemäß den Forderungen des Hochofenbetriebes anpassen, die Leistungssteigerung der Hochöfen erforderte einen Mehraufwand an Wind, der wieder die Größenabmessungen der Gebläse bestimmt.

Die gleichen Richtlinien gelten auch für die Großgasmaschinen zur Erzeugung elektrischer Energie. Man geht auch hier auf hohe Zylinderleistungen und Zweizylinder- und Tandem- oder Zwillingstandemanordnung aus. Man kann auf diese Art Leistungen bis zu 8000 kW erzielen, die aber zu den Seltenheiten gehören.

Bezüglich der konstruktiven Ausgestaltung der Maschinen wäre noch hervorzuheben, daß die Zylinderabmessungen sich im Maximum bis zu 1500 mm im Durchmesser bei 1700 mm Hub ergeben.

Die Großgasmaschinen sind mit Qualitätsregelung gebaut, während früher die Quantitätsregelung üblich war. Die Forderung, die Maschinen für den Betrieb von elektrischer Energie derart auszubilden, daß sie ohne Schwierigkeiten mit anderen Gasmaschinen oder mit Turbinen parallel geschaltet werden können, führte zu dieser Umgestaltung.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit bei den Großgasmaschinen, insbesondere im Vergleiche zu Dampfturbinen, wäre folgendes zu bemerken:

Wärmebilanz einer Gasmaschinenanlage mit Spülung einschließlich Spülgebläse und Kühlpumpenleistung bei Vollast:

Ohne Abgasverwertung:

an Kurbelwelle nutzbar abgegeben .... 1 kW (860 cal)
hierfür in Gas angeliefert......................... 3600 cal/kWh
Wirkungsgrad .... 23,9 %

Mit Abgasverwertung:

aus Abgasen gewonnen ....1,2 kg Dampf/kWh, 12 atü, 300°
oder an Turbinenkupplung .... 0,2 kWh

Wärmeaufwand je kWh $\frac{3600\ \text{cal.}}{1 + 0{,}2\ \text{kWh}}$ = ... 3000 cal/kWh

Wirkungsgrad .... 28,6 %

Mit Abgas- und Heißwasserverwertung:

aus Kühlwasser für Warmwasserbeheizung mit Temperaturgefälle von 85 bis 65° C abgegeben .... 300 cal/kWh,

Wirkungsgrad $\frac{860\ \text{cal/kWh}}{3000 - 300\ \text{cal/kWh}}$ mal 100......... 31,8 %.

Dieser Wärmebilanz gegenüber stellt sich die Wärmebilanz einer Dampfanlage, und zwar einer Hochdruckanlage von 120 at, 480° C einschließlich Eigenbedarf bei Vollast wie folgt:

Mit Zwischenüberhitzung bei 16 at und Speisewasseraufwärmung.

an der Turbinenwelle nutzbar abgegeben	1 kWh (860 cal)
Dampfverbrauch 4,15 kg/kWh, Erzeugungswärme	3270 cal/kWh,
Flussigkeitswärme am Kondensat 2,82 kg/kWh, 32° ..	90 cal/kWh,
Dampfentnahme fur Zwischenüberhitzung und Speisewasseraufwarmung	1,33 kg/kWh,
dem Speisewasser zur Aufwarmung auf 195° bei 16 ata durch Kondensat des Zwischenuberhitzers und Anzapfdampf zuzuführen	720 cal/kWh,
im Kessel zuzuführen	2460 cal/kWh,
am Rost aufzuwenden (K = 0,82)	3000 cal/kWh,
Wirkungsgrad	28,6%.

Bei Ausführung der Anlage mit *Zwischenüberhitzung*, jedoch ohne *Speisewasseraufwärmung* durch Anzapfdampf sinkt der Wirkungsgrad auf 25,3%.

Es ergibt sich daher:

1 kWh nutzbar an der Welle der Kraftmaschine benötigt in Kalorien

bei Gasmaschinen	A. ohne Heißwasserverwertung ...	3000 cal/kWh,
	B. mit Heißwasserverwertung	2700 cal/kWh,
bei der Hochdruckdampfanlage 120 ata, 480° C		3000 cal/kWh.

Im allgemeinen kann gesagt werden, daß Hochdruckdampfanlagen mit Speisewasseraufwärmung und Gasmaschinenanlagen mit Abgasverwertung praktisch gleichwertig sind.

Dieser Vergleich ist angestellt unter Annahme einer Hochdruckdampfanlage von 120 ata. Solche Anlagen kommen aber heute praktisch nur in seltenen Fallen in Frage. Auch setzt dieser Vergleich voraus, daß als untere Grenze eine Leistung von 15000 bis 20000 kW vorliegt, während bei Großgasmaschinen als Maximalleistung nur 8000 kW zur Ausfuhrung kommen konnen. Dies bedingt also die Aufstellung von 2 bis 3 Großgasmaschinen gegenüber 1 Turbine von 20000 kW.

Bei den Zentralen kleinerer Abmessungen stellt sich die wirtschaftliche Auswertung bei den Großgasmaschinen etwas günstiger als bei den Turbinen.

Es sei hier nur noch bemerkt, daß in vielen Fallen nicht nur die wirtschaftliche Ausnützung ausschlaggebend für die Wahl, ob Großgasmaschinen oder Dampfturbine, sein kann. Oft geben die ortlichen Verhaltnisse, insbesondere die Frage, ob Abfallkohle, die nicht verkaufsfähig ist, unter Kesseln verbrannt werden kann und so für Dampfturbinen verwendbar ist, den Ausschlag.

Diese Rechnung wird zugunsten der Dampfturbine noch dadurch beeinflußt, daß Hochofengase heute entweder allein oder mit den Abgasen der Koksöfen zusammen unmittelbar in den hüttenmännischen Betrieben, das ist sowohl bei den Martinsöfen als auch bei den Walzwerkseinsetzöfen, Verwendung finden.

Es kann im allgemeinen bemerkt werden, daß die Hochofengichtgase vorteilhafter in Öfen als in Maschinen ausgenutzt werden.

Ferner sei noch hervorgehoben, daß die Hochofengase auch unmittelbar in den Kesseln verfeuert werden können, und daß sich diese Kessel durch entsprechende Dimensionierung hinsichtlich der Überhitzer, Wasser- und Luftvorwärmer so bauen lassen, daß praktisch der gleiche Wirkungsgrad erzielt wird, wie bei einer Kesselanlage, die mit Kohlenstaub gefeuert wird. Die Anlagekosten sind jedoch, verglichen mit kohlenstaubgefeuerten Kesseln, ohne Kohlenstaubaufbereitung, um etwa 10% höher. Der Energieverbrauch für die Kohlenaufbereitung und für die elektrische Gasreinigung kann als gleich angenommen werden.

In der Tschechoslowakei befassen sich mit dem Bau von Großgasmaschinen die Skodawerke in Pilsen und die Witkowitzer Berg- und Hüttenwerksges. in Witkowitz.

Es sei hier auf den Umstand besonders hingewiesen, daß nunmehr eine Vereinheitlichung im Bau von Großgasmaschinen zu verzeichnen ist. Noch vor ungefähr 30 Jahren gelangten Gasmaschinen zur Aufstellung, die in ihrer Konstruktion prinzipiell voneinander verschieden waren. Es sei insbesondere auf die Oechelhäuser-Gasmaschine hingewiesen, die in der Anordnung des Getriebes einen komplizierten Aufbau darstellt.

Der Wunsch, Maschinen mit großen Zylindereinheiten zu bauen, führte zu einer einfachen Ausbildung der Maschine hinsichtlich des Getriebes. Abweichungen in der Ausbildung sind zu verzeichnen bei der Anordnung für Spülluft und für Nachladung.

Es kann gesagt werden, daß die neuen Bauarten gleicher Größe keine nennenswerten Unterschiede hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit aufweisen. Eine moderne Gasmaschine ist bezüglich Betriebssicherheit und Benutzungsdauer einer Turbinenanlage einschließlich Kessel und Warmwasseraufbereitungsanlage praktisch gleichwertig. Voraussetzung ist, daß die Gasmaschinen entsprechende Wartung erfahren, daß insbesondere die Kühlung einwandfrei funktioniert und eine periodische Reinigung im Zylinder vorgenommen wird.

Es kann damit gerechnet werden, daß bei Gasmaschinen in mehrjährigem Betriebe 2,5% der Kalenderzeit für periodische Reinigung und Aufbereitung und 1,5% für Reparaturen genügen.

Was den Bau von Kleingasmaschinen in Hüttenwerken anbelangt, so ist das Bedürfnis nach solchen Maschinen unter Hinweis auf das vorher Gesagte nicht vorhanden. Kleinere Betriebe, welche nicht unmittelbar mit den Hüttenwerken in Verbindung stehen, wie z. B. der Kalksteinbruch Stramberg, das Asbestwerk Dobšina usw. haben Kleingasmaschinen mit Gasgeneratoren, die aus Kohle oder Koks Gas für die Gasmaschinen erzeugen. Je nach der Bauart dieser Generatoren können auch minderwertige Brennmaterialien wie Holz, Sägespäne, Torf, herangezogen werden. In diese Gruppe gehören die Sauggasanlagen, die jedoch nur ein ganz beschränktes Verwendungsgebiet besitzen.

Für den guten Betrieb der Gasmaschinen ist eine entsprechende Reinigung der Hochofengase Voraussetzung. Im Zusammenhange

mit dieser Reinigung der Hochofengase steht auch die Kuhlung der Gichtgase, und es konnen nur unter der Voraussetzung gutgereinigter Gase bei tiefer Kühlung hohe Leistungen erzielt werden.

Es sind auf den Huttenwerken sowohl Naßreinigungen, wie auch Trockenreinigungen, letztere nach dem elektrischen Prinzip, in Verwendung. Die Naßreinigung erfolgt im allgemeinen in zwei Stufen, d. h. die Gase werden in Vorreinigern, die mit Desintegratoren bedient werden und mit vorgeschalteten Kühlröhren ausgerustet sind, auf 0,2 bis 0,5 g Staub pro Kubikmeter Gas gereinigt. Zur Feingasreinigung dienen entweder ebenfalls Desintegratoren oder Ventilatoren mit Wassereinspritzung, durch welche das Gas auf etwa 0,02 bis 0,06 g Staub gereinigt wird.

Die elektrische Feingasreinigung reinigt das Gas in einem Zuge auf 0,01 bis 0,4 g.

Da das Gichtgas die elektrische Gasreinigung mit einer Temperatur von etwa 60° C verläßt, muß dasselbe noch auf 20 bis 25° C heruntergekuhlt werden.

In den Hüttenwerken sind für den Betrieb der Naßreinigung Desintegratoren und Ventilatoren von Theisen, Schwarz, Zschokke und Dingler aufgestellt. Fur die elektrische Gasreinigung, die bisher nur auf den Witkowitzer Hochofenanlagen angewendet wurde, dient das System „Elga". Auch die Siemens-Schuckert-Werke bauen derartige Elektrogasreinigungen.

Welche Art der Reinigung fallweise in Anwendung gebracht werden soll, ist noch nicht allgemein festgestellt und hangt sehr von den ortlichen Verhaltnissen, insbesondere von den verfügbaren Wassermengen, ab. Die verschiedenen Systeme haben je nach der Natur des Gichtstaubes verschiedene Ergebnisse.

Summary

A survey of the fields of application of large gas engines is given and their economic importance compared with power stations operating with extra high steam pressure. The use of small gas engines in metallurgical works is described.

Deutschland

Neueste Entwicklung des Dieselmotors unter besonderer Berücksichtigung seiner Verwendung für Spitzenkraftwerke

Vereinigung der Elektrizitätswerke

M. Gercke und Dr. A. Bannwarth

I. Einleitung

Allgemeiner Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Dampfkraftmaschinen und Dieselmotoren

Das Preisverhältnis der festen und flüssigen Brennstoffe ist in *Deutschland* je nach der Frachtlage des Kraftwerkes bei hochwertiger Steinkohle von 7200 kcal/kg = 13000 BTU/lbs und verzollten ausländischen Gasölen von 10000 kcal/kg = 18000 BTU/lbs für 1000 kg = 2200 lbs

$$\begin{array}{rl} \text{ungefähr} & \text{RM. } 20,\text{— bis RM. } 40,\text{—} \\ \text{zu} & \text{RM. } 110,\text{— bis RM. } 150,\text{—} \end{array} \quad \text{d. h. } \frac{1}{5\frac{1}{2}} \text{ bis } \frac{1}{3\frac{3}{4}}.$$

Rechnet man den Wärmeverbrauch hochwertiger Dampfkraftwerke mit etwa 4200 kcal/kWh = 16700 BTU/kWh und den Wärmeverbrauch neuzeitlicher Großdieselmotoren mit 2600 kcal/kWh = 10350 BTU/kWh und nimmt man die Anlagekosten von Dampf- und Dieselkraftwerken mittlerer Größe, d. h. bis etwa 30000 kW Gesamtleistung für die Leistungseinheit als gleich an, was heutzutage den tatsächlichen Verhältnissen in Deutschland entspricht, so errechnet sich die wirtschaftliche Gleichwertigkeit beider Kraftanlagen bei einem Preisverhältnis der Brennstoffe frachtfrei Brennstoffspeicher des Kraftwerks für

$$\frac{\text{Steinkohlen}}{\text{Gasöl}} = \frac{2600 \cdot 7200}{4200 \cdot 10000} = \frac{1}{2,24}.$$

Da das tatsächliche Preisverhältnis zwischen Steinkohle und Gasöl aber $\frac{1}{5\frac{1}{2}}$ bis $\frac{1}{3\frac{3}{4}}$ ist, kann der Dieselmotor in Deutschland gegen hochwertige Dampfturbinen mit Steinkohlenfeuerung im *Dauerbetrieb*, d. h. zur Erzeugung der *Grundlast* der Elektrizitätsversorgung, den wirtschaftlichen Wettbewerb nicht aufnehmen, weil seine Brennstoffkosten höher sind.

Bei kleinen Anlagen (bis zu einigen hundert kW), bei denen z. B. Kolbendampfmaschinen in Betracht kommen, liegen die Verhältnisse meist günstiger für den Dieselmotor, wie nebenbei bemerkt sei.

Bei Teerölbetrieb ist das obige Preisverhältnis bei einem Heizwert des Steinkohlenteeröls von 8900 kcal/kg = 16000 BTU/lbs im Vergleich mit Gasöl wie $\frac{2600 \cdot 7200}{4200 \cdot 8900} = \frac{1}{2}$, d. h. 1 t Steinkohlenteeröl darf nur doppelt soviel kosten wie 1 t Steinkohlen, wenn man gleich hohe Brennstoffkosten bei Teeröldieselmotoren und Dampfturbinen — wie oben berechnet — erzielen will, d. h. RM. 40,— bis RM 80,—/t.

Das hiernach vorliegende Preisverhältnis $\frac{\text{Steinkohlenteeröl}}{\text{Gasöl}} = \frac{2}{2{,}24}$ verschiebt sich tatsächlich noch etwas zu Ungunsten des Steinkohlenteeröls, weil bei Steinkohlenteerölbetrieb mit einem Verbrauch von etwa 15 kg/h Gasöl als Zündöl auf 1000 kW Nennleistung der Dieselmotoren zu rechnen ist und ferner weil das Steinkohlenteeröl gewisse technische Nachteile gegenüber dem Gasöl aufweist. Diese Tatsachen drücken sich in einem Minderwert des Steinkohlenteeröls von etwa 25 bis 30% gegenüber dem Verkaufspreis des Gasöls einschließlich Fracht und Zoll aus. *Gleichwertigkeit* zwischen beiden Betriebsstoffen für Dieselmotoren wird also erzielt, wenn sich das Preisverhältnis

$$\frac{\text{Steinkohlenteeröl}}{\text{Gasöl}} = \frac{(0{,}7 \text{ bis } 0{,}75) \cdot 2}{2{,}24} = \frac{1}{1{,}6} \text{ bis } \frac{1}{1{,}5}$$

stellt, ein wirklicher *Anreiz* zum Betrieb der Dieselmotoren mit Steinkohlenteeröl statt mit Gasöl ergibt sich aber erfahrungsgemäß nur bei einem Preisverhältnis

$$\frac{\text{Steinkohlenteeröl}}{\text{Gasöl}} = \frac{1}{2},$$

d. h. wenn das Steinkohlenteeröl nur etwa halb soviel für 1 t kostet wie 1 t Gasöl einschließlich Fracht und Zoll.

Ähnliche Verhältnisse wie in Deutschland liegen in England, Frankreich, Nordamerika und anderen kohlenreichen Ländern vor. In Südamerika, Australien, Indien, Afrika und anderen Gegenden der Erde, wo die Kohlenpreise hoch sind und Erdöl zur Verfügung steht, liegen die Verhältnisse günstiger für den Dieselmotor, auch bei Dauerbetrieb mit hoher Benutzungsdauer und erst recht beim Spitzenbetrieb, wie an Hand obiger Ausführungen leicht rechnerisch von Fall zu Fall nachgewiesen werden kann, wenn die örtlichen Brennstoffkosten und die sonstigen Betriebsverhältnisse bekannt sind.

Die Betriebsstoffversorgung von Spitzendieselmotoren

Wie noch später nachzuweisen sein wird, muß in diesem Zusammenhang betont werden, daß für den Betrieb von Spitzendieselmotoren nicht das Preisverhältnis wie oben, sondern die Brauchbarkeit des Treiböls für schnellstes und sicherstes Anlaufen der Dieselmotoren aus

nutzungsdauer der Höchstlast von nur 300 bis 600 h/Jahr gekennzeichnet sind, nur wenig aus; sie können gegenüber den Hauptposten meist vernachlässigt werden, besonders wenn die Bedienung durch die ohnehin vorhandene Mannschaft des zugehörigen Umspannwerks nebenher besorgt wird, was in vielen Fällen angängig sein wird.

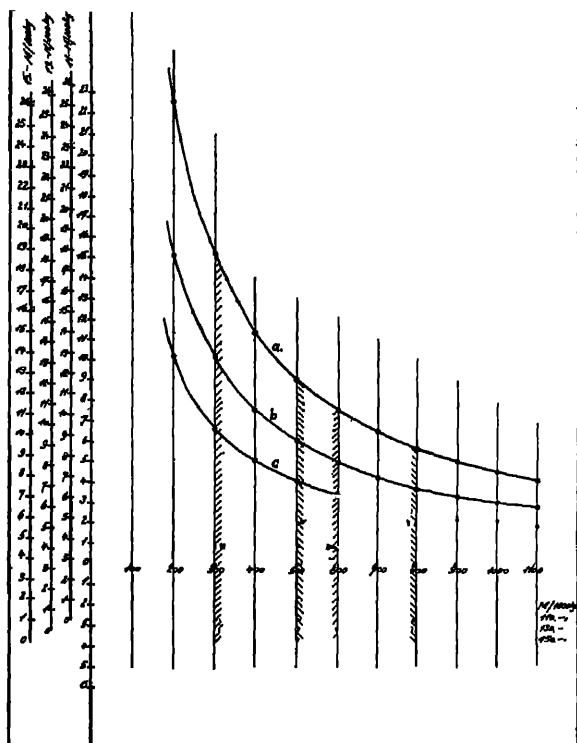



Abb. 1. Betriebskosten in Pfg /kWh eines Spitzendieselmotorenwerkes bei verschiedenen Anlagekosten/kW, Kapitalkosten, Brennstoffkosten und Benutzungszeiten ohne Betriebsführungskosten.

Über der Nullinie Kapitalkosten.

a) Anlagekosten RM 300,—/kW Kapitalkosten 15% 4500 Pfg /Jahr
b) Mittelwert Kapitalkosten 3000 Pfg /Jahr
c) Anlagekosten RM 200,—/kW. Kapitalkosten 10% 2000 Pfg /Jahr

Unter der Nullinie Brennstoffkosten

RM 110,—/1000 kg 2,75 Pfg./kWh
RM 130,—/1000 kg 3,25 Pfg /kWh
RM. 150,—/1000 kg 3,75 Pfg /kWh

Abszissen. Benutzungszeiten/Jahr.

Absolute Spitzenbetriebszeit 500 bis 800 h/Jahr
Benutzungsdauer der Spitzenhöchstlast 300 bis 600 h/Jahr

Ordinaten: Betriebskosten in Pfg./kWh Spitzenlast

Die langen Pausen zwischen den täglich meist nur zweimal im Winter vorkommenden Spitzen und die fast ununterbrochene Betriebsruhe im Sommer — abgesehen von den Inbetriebsetzungen bei Störungsfällen — machen in dieser Beziehung einen gewaltigen Unterschied gegenüber dem ununterbrochenen Dauerbetrieb der Grundlastwerke aus.

II. Betriebsergebnisse von Spitzendieselmotorenanlagen nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten

Da der Bau von Großdieselmotoren erst in den letzten Jahren große Fortschritte zu verzeichnen hat, sind bisher auch nur wenige Elektrizitätswerke zur Aufstellung von Großdieselmotoren als Spitzenmaschinen übergegangen, weshalb man bis heute auch nur über wenige Betriebsergebnisse zur Beurteilung dieser wichtigen Frage verfügt.

Ganz allgemein sind folgende *betriebstechnische* Vorteile der Dieselmotoren für die Zwecke der Elektrizitätswirtschaft festzustellen und als solche allgemein anerkannt:

a. die Annehmlichkeit ihrer jederzeitigen Betriebsbereitschaft ohne Brennstoffverbrauch und ohne Abnutzung im betriebsbereiten Ruhezustand,

b. die Verbesserung der Wärmewirtschaft der Grundlastwerke durch Abschneiden der kurzfristigen Belastungsspitzen und die Erhöhung der Benutzungsdauer der Höchstbelastung des Dampfbetriebes und sinngemäß ebenso bei Wasserkraftwerken die Hebung der Wasserwirtschaft durch das Ausgleichen der Belastung der Wasserturbinen, besonders bei Laufkraftwerken mit schwankendem Wasserzufluß;

c. die Möglichkeit, die Spitzen- und Reservedieselmotoren jederzeit nach Bedarf auch als *Primär*maschinen zu verwenden und Betriebshemmungen durch Streik der Belegschaft, Verkehrsstörungen bei der Brennstoffanfuhr der Grundkraftwerke, Wassermangel, Eisstörungen usw. wirksam zu bekämpfen;

d. die Möglichkeit, Spitzen- und Reservedieselmotoren beträchtlicher Leistung mitten in den Stromversorgungsgebieten — nötigenfalls in *unterirdischen* Maschinenräumen — aufzustellen und auf diese Weise auch die empfindlichsten Stromabnehmer gegen Störungen der Stromlieferung zu schützen;

e. die Möglichkeit, zwischen die Dieselmotoren und die Generatoren lösbare Kupplungen einzubauen und die Generatoren als Phasenschiebemaschinen außerhalb der Spitzenzeit zu betreiben, wodurch außer dem Nutzen der verbesserten Phasenverschiebung die Benutzungsdauer des elektrischen Teils wesentlich gehoben und der Kapitaldienst gesenkt werden kann, weil die Aufstellung besonderer Phasenschiebeeinheiten gespart wird;

f. die Unabhängigkeit von dem Brennstoff und den Brennstoffförderanlagen der Dampfkraft-Grundlastwerke und die Möglichkeit, den für andere Zwecke nicht verwendbaren Brennstoff (Gasöl und Teeröl) in großen Mengen, d. h. für große Leistungen und lange Betriebszeiten, in Tanks oberirdisch oder sogar unterirdisch sicher und raumsparend

zu lagern, ohne daß Verluste durch Diebstahl, Selbstentzündung, Verwitterung oder andere Einflüsse wie bei Reservekohlenlagern eintreten können und ohne daß Abfallstoffe wie Schlacke oder Flugasche anfallen

Technische Betriebsergebnisse von Spitzendieselmotoren liegen von den Großanlagen Hamburg-Neuhof und Bremen vor, außerdem von einer Reihe mittelgroßer und kleiner Spitzendieselmotorenanlagen.

Die untenstehende Zahlentafel 1 zeigt das Ergebnis der Abnahmeversuche des Spitzendieselmotors im Kraftwerk Neuhof der Hamburgischen Elektrizitatswerke AG., einer neunzylindrigen, doppeltwirkenden Zweitaktmaschine, Bauart MAN-Blohm & Voss, von 15000 PS gleich 10500 kW mit Lufteinblasung des Brennstoffs. Zum Vergleich ist auch das Ergebnis der Abnahmeversuche der beiden kompressorlosen Spitzendieselmotoren des Umspannwerks Hennigsdorf des Markischen Elektrizitatswerks AG Berlin, 2 zehnzylindriger, doppeltwirkender Zweitaktmaschinen, Bauart MAN von je 11700 PS = 8000 kW mit luftloser Brennstoffeinspritzung, in Zahlentafel 2 zusammengestellt. Eine kurze Beschreibung dieser Anlage folgt weiter unten.

Zahlentafel 1 Abnahmeversuche des Spitzendieselmotors von 10500 kW, Bauart MAN-Blohm & Voss im Kraftwerk Neuhof der Hamburgischen Elektrizitatswerke

Generatorleistung	Arbeitsverbrauch des Spülgebläses	Nutzleistung	Nutzbrennstoffverbrauch		Nutzwärmeverbrauch	
kW	kW	kW	g/kWh	lbs/kWh	kcal/kWh	BTU/kWh
10405	565	9840	250,5	0,552	2500	9950
10446	572	9874	249,6	0,55	2500	9940
7941	570	7371	252,3	0,556	2526	10050
5417	556	4861	267,2	0,587	2675	10620
2561	570	1991	393,9	0,867	3952	15700

Abmessungen

Zylinderdurchmesser	860 mm = 2 ft 10 Zoll
Kolbenhub	1500 mm = 5 ft
Zylinderzahl	9
Drehzahl in der Minute	94

Zahlentafel 2 Abnahmeversuche der beiden kompressorlosen Spitzendieselmotoren von je 8000 kW, Bauart MAN, im Umspannwerk Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitätswerks AG, Berlin

Generatorleistung	Arbeitsverbrauch der Hilfsmaschinen	Nutzleistung	Nutzbrennstoffverbrauch		Nutzwärmeverbrauch	
kW	kW	kW	g/kWh	lbs/kWh	kcal/kWh	BTU/kWh
8100	640	7460	254	0,56	2540	10100
6250	640	5610	252	0,55	2520	10000
4370	640	3730	268	0,59	2680	10650
8075	639	7436	248	0,546	2480	9850
6087	639	5448	254	0,56	2540	10100
4437	639	3798	269	0,592	2690	10700

Abmessungen:

Zylinderdurchmesser	600 mm = 2 ft.
Kolbenhub	900 mm = 3 ft.
Zylinderzahl	10
Drehzahl in der Minute .	214
Erreichte Generator-Hochstleistung . .	9500 kW
Gunstigster Nutzwarmeverbrauch . . bei	6481 kW
Nutzbrennstoffverbrauch.	246 g/kWh = 0,543 lbs/kWh

Über die *wirtschaftlichen* Betriebsergebnisse von Spitzendieselmotorenanlagen liegen folgende Unterlagen vor:

1. Die Hamburgischen Elektrizitätswerke konnten im September 1929 auf einen dreijährigen, erfolgreichen Betrieb des im Kraftwerk Neuhof aufgestellten Spitzendieselmotors von 10500 kW zuruckblicken. Sie haben für das Betriebsjahr 1928 verschiedene Betriebsaufschreibungen zur Verfügung gestellt, die interessante Vergleiche und Berechnungen nach elektrizitatswirtschaftlichen Gesichtspunkten ermoglichen:

Im allgemeinen hat sich, wie vorausgeschickt sei, herausgestellt, daß bei neuzeitlichen Kraftwerken mit ausgesprochener Lichtspitze die Spitzenleistung, welche einer Jahresbenutzungsdauer von 1000 h und weniger entspricht, etwa 50% der Höchstleistung betragt. Als solche ist sie nur mit etwa 4 bis 5% an der Gesamterzeugung in kWh beteiligt, wahrend die übrigen 50% der Maschinenleistung als Grundbelastung 95 bis 96% der Gesamterzeugung liefern.

Bei der Anlage Hamburg-Neuhof der H. E. W. betrug die Leistung des Dieselmotors von 10500 kW rd. 20% der Dampfturbinenleistung von 52500 kW, die dort Anfang 1929 installiert war. Im Durchschnitt der Betriebszeit seit September 1926 ist der Motor jahrlich etwa 800 h im Betrieb gewesen und hat beispielsweise im Betriebsjahr 1928 im ganzen 3351300 kWh Spitzenstrom geliefert, was einer Benutzungsdauer der Vollast (10500 kW) von nur 320 h/Jahr und einem Belastungsfaktor[1] von nur 3,64% entspricht. Bezogen auf die Stromerzeugung des Kraftwerks Neuhof von 121881500 kWh im Jahre 1928 macht die Stromerzeugung des Spitzendieselmotors nur 2,75%, bezogen auf die Gesamterzeugung aller Kraftwerke der H. E. W. im Jahre 1928 von 348785400 kWh, nur knapp 1% aus. Trotz der verhältnismäßig kleinen Leistung des Dieselmotors und trotz des scheinbar unerheblichen Anteils desselben an der Stromerzeugung stellt sich aber doch eine sehr erhebliche Verbesserung der Benutzungsdauer der Höchstlast der Dampfkraftmaschinen und damit eine sehr fühlbare Hebung der Warmewirtschaft des Dampfkraftbetriebes der Grundlastwerke heraus, wie folgende Berechnung beweist:

Die Benutzungsdauer der Höchstlast des Kraftwerks Neuhof von 59300 kW betrug 1928

$$\frac{121\,881\,500}{59\,300} = 2055 \text{ h/Jahr},$$

[1] Belastungsfaktor = $\frac{\text{erzeugte kWh}}{\text{installierte kW} \quad 8760}$ in %.

die der Dampfkrafteinheiten allein

$$\frac{121\,881\,500 - 3\,351\,300}{59\,300 - 10\,500} \quad 2430\ \text{h/Jahr.}$$

Durch das Abschneiden eines verhältnismaßig kleinen Teils der Belastungsspitzen wurde also die Benutzungsdauer der Höchstlast des Dampfbetriebes um 2430 — 2055 = 375 h/Jahr, d. h. um rd. 18% gesteigert, womit sich rechnerisch[2] eine Verbesserung des Warmeverbrauchs der Dampfeinheiten für die Leistungseinheit um rd. 250 kcal/kWh und damit eine entsprechende Kohlenersparnis ergibt.

Führt man dieselbe Berechnung für die Gesamtanlagen der H. E.W. mit ihrem Installationswert der Kraftmaschinen von 143500 kW (Stand Anfang 1929) durch, so ergibt sich eine Benutzungsdauer der Gesamthöchstlast von 108700 kW mit

$$\frac{348\,785\,400}{108\,700} = 3200\ \text{h/Jahr}$$

und die Benutzungsdauer der Höchstlast samtlicher im Betrieb befindlicher Dampfturboaggregate von

$$\frac{348\,735\,400 - 3\,351\,300}{108\,700 - 10\,500} = 3520\ \text{h/Jahr.}$$

Durch die Mitwirkung des Spitzendieselmotors ist trotz des anscheinend verschwindenden Anteils an der Stromerzeugung von knapp 1% der Gesamtstrommenge doch eine Verbesserung der Benutzungsdauer der Höchstlast samtlicher Dampfturboaggregate um rd. 3520 — 3200 = 320 h/Jahr = 10% erzielt worden, die sich in einer entsprechenden Hebung der Gesamtwärmewirtschaft des Dampfbetriebes ausgewirkt hat.

Ein Vergleich der Belastungsfaktoren der H. E. W. ergibt folgende Werte:

Sämtliche Kraftwerke zusammen:

$$\frac{348\,785\,400}{143\,500 \cdot 8760} = 27{,}75\,\%\ .$$

Sämtliche Dampfturbinen allein:

$$\frac{348\,785\,400 - 3\,351\,300}{(143\,500 - 10\,500) \cdot 8760} = 29{,}6\,\%\ .$$

Hebung des Belastungsfaktors durch den Spitzendieselmotor daher von 27,75 auf 29,6% = also um 1,85 Punkte, d. h. um 5,65% des Wertes 27,75%.

Kraftwerk Neuhof allein:

$$\frac{121\,881\,500}{63\,000 \cdot 8760} = 22\,\%\ ;$$

[2] E T Z. 1927 S. 527.

der Dampfturbinen allein ·

$$\frac{121\,881\,500 - 3\,351\,300}{(63\,000 - 10\,500) \cdot 8760} = 25{,}75\,\%\,;$$

es stellt sich also eine Hebung des Belastungsfaktors durch den Spitzendieselmotor von 22 auf 25,75% = also um 3,75 Punkte, d. h. um 17% des Wertes 22% heraus

Die so ermittelten Vorteile der Dieselmotoren fur die Dampfkraftwerke beruhen im wesentlichen auf einer Ersparnis an Anheiz- und Abbrandverlusten der Dampfkessel und ferner auf der gleichmaßigeren Belastung derselben infolge des Abschneidens der kurzfristigen Belastungsspitzen. Im vorliegenden Falle der H. E. W. hat die *durchschnittliche* absolute Betriebsdauer des Dieselmotors etwas uber 2 h/Tag betragen; die Benutzungsdauer der Hochstlast etwa knapp 1 h/Tag, es darf aber bei dem in Hamburg vorliegenden Preisverhaltnis zwischen dem Brennstoff des Dieselmotors (Gasöl) und dem der Dampfkrafteinheiten (Steinkohle) angenommen werden, daß die absolute Benutzungsdauer des Dieselmotors vielleicht bis auf etwa 3 h/Tag und die Benutzungsdauer der Hochstleistung ebenfalls entsprechend gesteigert werden darf. Andererseits ist klar, daß der Dieselmotor ohne weiteres auch bei den deutschen Brennstoffpreisverhaltnissen als *Grundlast*maschine im *Bedarfsfalle* betrieben werden kann. Da aber die Kapitalkosten bei Dieselmotoren ebenso hoch wie bei Dampfturbinen ausfallen, mussen sich die Gesamterzeugungskosten fur 1 kWh in diesem Falle hoher stellen als bei Dampfbetrieb, weil die Brennstoffkosten des Dieselmotors bei den heutigen Treibolpreisen hoher sind als die Kohlenkosten beim Dampfbetrieb. Demnach kann der Betrieb des Dieselmotors als *Grundlast*maschine das wirtschaftliche Bild des Gesamtbetriebes nicht verbessern, wie bereits eingangs erwahnt wurde. Gerade das Gegenteil ist aber beim Spitzenbetrieb des Dieselmotors der Fall, wie oben nachgewiesen wurde.

Aus diesem Zusammenhang geht klar hervor, daß das Bestreben der Kraftwerke dahin gerichtet sein muß, bei den heutigen Preisverhaltnissen der Brennstoffe in Deutschland auf eine moglichst gleichmaßige Erzeugung der *Grund*last mit *Dampf*kraftmaschinen hinzuarbeiten und die kurzfristige *Spitzen*last durch die stets betriebsbereiten *Dieselmotoren* aufnehmen zu lassen. Nur bei einer plotzlichen Bedarfssteigerung an elektrischer Arbeit oder bei einem unbeabsichtigten Ausfallen einer Grundlastmaschine muß der wertvolle Vorteil ausgenutzt werden, daß die Dieselmotoren in solchen unerwarteten Bedarfsfällen sofort als *Grundlast*maschinen Strom liefern konnen und dann auch ohne nennenswerten wirtschaftlichen Nachteil dauernd als Grundlastmaschinen laufen konnen. Demnach sind die Dieselmotoren auch die gegebenen Reservemaschinen der Dampfkraftwerke und weisen dabei noch den weiteren Vorteil auf, daß sie allein mit Druckluft und ohne elektrischen Strom — also auch bei infolge von Störungen u. dgl vollkommen stromlosem Zustand der Gesamtanlage — in kurzester Zeit angelassen und sofort belastet werden können. Die zugehorigen Hilfsmaschinen, wie

Spülluftgeblase, Kühlwasser- und Schmierolpumpen usw., werden dabei durch entsprechende technische Maßnahmen mit dem Dieselmotor zusammen angelassen, so daß die Stromerzeugung auch im Falle schwerer Störungen des Gesamtbetriebes sofort wieder aufgenommen werden kann. Diese Tatsachen sind nicht nur durch Versuche, sondern auch in den verschiedenen Ernstfällen praktisch erprobt und wiederholt nachgewiesen worden Die Wichtigkeit dieses Gesichtspunktes fur den praktischen Kraftwerksbetrieb kann nicht eindringlich genug betont werden. Deswegen sollten diese indirekten Vorteile des Dieselmotors für die Elektrizitatswerke auch bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen sinngemäß zugunsten des Dieselmotors in Rechnung gestellt werden.

2. Zum Vergleich sei hier noch die Spitzendieselmotorenanlage des Stadt. E.W. Bremen kurz untersucht.

Die Stromversorgung von Bremen wird durch ein Kraftwerk bedient, das aus einer Wasserkraftanlage von maximal .... 7750 kW,
einer Dampfturbinenanlage von maximal ..... 33400 „
und einer Spitzendieselmotorenanlage von maximal . 4160 „

besteht und demnach eine Maximalleistung von .... 45310 kW aufweist, wovon 9,2% auf die Dieselmotoren entfallen.

Das Wasserkraftwerk unterliegt je nach den Gezeiten (Ebbe und Flut der Unterweser) und der Wasserführung der Weser oberhalb Bremens periodischen Schwankungen der Leistung, die bei Hochwasser und Eisgang auf Null zurückgeht, da das Werk bei solchen Ereignissen stillgesetzt werden muß. Die vorkommende Höchstlast muß daher jederzeit von den Warmekraftmaschinen allein aufgenommen werden können; bei der Beurteilung des Einflusses der Spitzendieselmotoren auf die Benutzungsdauer der Maschineneinheiten müssen die Dampf- und Wasserturbinen *zusammen* als ein Ganzes in Betracht gezogen werden. Da die Stromerzeugung und die Hochstlast des Kraftwerks in den Jahren 1926 bis 1928 gestiegen, die installierte Maschinenleistung aber gleich geblieben und die Ausnutzung der Spitzendieselmotoren sogar zeitweilig gesunken ist, muß der Einfluß der Spitzendieselmotoren auf die Benutzungsdauer der Höchstlast der Wasser- und Dampfkrafteinheiten eine sinkende Tendenz aufweisen, wie die folgenden Betriebsausweise erkennen lassen:

Jahr	1926	1927	1928
Stromerzeugung in kWh			
a. der Wasserturbinen .	44703947	46800800	38540312
b der Dampfturbinen .	41154374	56313976	74532605
a u b zusammen	85858321	103114776	113072917
c der Dieselmotoren	1940256	957408	1161376
Gesamtleistung a u b u c	87798577	104072184	114234293
Stromerzeugung der Dieselmotoren			
in % von a u b	2,26	0,93	1,03
in % von a u b u c . .	2,21	0,92	1,025

Trotz dieses winzigen Anteils der Spitzendieselmotoren stellt sich aber doch ein sehr bemerkenswerter Einfluß auf die Benutzungsdauer der Höchstlast der Grundlasteinheiten heraus, wie folgende Berechnung beweist:

Jahr	1926	1927	1928
a u b. Hochstleistung der Wasser- und Dampfturbinen in kW	21110	28310	28154
c Hochstleistung der Spitzendieselmotoren in kW	3500	3000	2000
Höchstleistung des Gesamtwerkes in kW	24610	31310	30154
Benutzungsdauer der Höchstlast in h/Jahr:			
a u b. der Wasser- und Dampfturbinen	4067	3642	4016
b u. c. des Gesamtwerkes	3568	3324	3788
Hebung der Benutzungsdauer durch Abschneiden der Belastungsspitzen , . . h/Jahr	499	318	228
d. h. um .... %	14	9,57	5,94
Benutzungsdauer der Hochstlast der Dieselmotoren .... h/Jahr	554	319	228

Zum Vergleich sind auch noch die Belastungsfaktoren der Maschineneinheiten des E.W. Bremen wie folgt ermittelt:

Jahr	1926	1927	1928
a u. b. Belastungsfaktoren der Wasser- und Dampfturbinen in %	23,8	28,62	31,4
a u b u. c. Belastungsfaktoren des Gesamtwerkes in %	22,2	26,2	28,8
Hebung des Belastungsfaktors der Wasser- und Dampfturbinen durch die Spitzendieselmotoren um Punkte	1,6	2,42	2,6
entsprechend %	7,2	9,25	9,6
Belastungsfaktor der Dieselmotoren in % .. .	5,32	2,62	3,19

Zu diesen Zahlenwerten ist zu bemerken, daß die Leitung des Stadt. E.W Bremen den Hauptwert der Dieselmotoren weniger in der Aufnahme der Belastungsspitzen, sondern mehr in der Verwendung derselben als stets schlagfertige Reserve für den Fall unerwarteter Störungen oder plotzlichen Mehrbedarfs an elektrischer Arbeit infolge von Witterungsverhaltnissen u. dgl. sieht. Diese Einstellung geht aus den oben zusammengestellten Zahlentafeln deutlich hervor.

Die Werte für das Betriebsjahr 1929 waren bei der Drucklegung dieses Aufsatzes (1 XI 1929) weder für die Anlage Hamburg noch fur Bremen greifbar und konnten daher nicht berücksichtigt werden.

3. *Dieselmotoren in den Ortsnetzen von Überlandkraftwerken.*

Nicht nur im *Eigenbetriebe der Großkraftwerke* haben sich diese Vorzüge der Dieselmotoren als Zusatz-, Spitzen- und Reservemaschinen

geltend gemacht. Auch bei der Belieferung *örtlicher Stromabsatzgebiete* von Überlandwerken aus haben sich Dieselmotoren im *Dienste der Ortsnetze* als äußerst nutzliche Reservemaschinen zur Erhöhung der Betriebssicherheit und als sehr wirksame Hilfsmittel zur Senkung der Stromtarife durch günstigere Gestaltung des Belastungsschaubildes, d. h. durch Abschneiden der Spitzen erwiesen. Genaue zahlenmaßige Nachweise hierüber liegen bisher nur von zwei englischen Anlagen vor, von denen die eine beispielsweise wahrend der 6 Wintermonate 1927/28 von einem Überland-Dampfkraftwerk mit ... 1198040 kWh beliefert wurde, während .... 301000 kWh = 25%
des Strombezuges mit einem Dieselaggregat im Eigenbetrieb erzeugt wurden.

Die Gesamtleistung von .... 1499040 kWh
wurde dabei mit einer Höchstleistung von ... 523 kW
der Fernversorgung und .... 500 „

der Eigenanlage, insgesamt also mit .... 1023 kW Gesamthöchstleistung erzeugt. Die Benutzungsdauer der Gesamthochstleistung betrug dabei ..... 1465 h/Halbjahr; sie wurde durch die Unterteilung der Stromquellen auf

2290 h/Halbjahr der Fernversorgung (Dampfbetrieb) und
600 h/Halbjahr der Eigenerzeugung (Dieselmotorenbetrieb)

umgestellt mit dem Ergebnis, daß in 6 Monaten eine Ersparnis von 3347 £ = rd. 68000 RM. durch Senkung der vertraglichen Stromtarife infolge Hebung der Benutzungsdauer der Höchstlast festgestellt werden konnte, wovon allerdings 500 £ = rd. 10000 RM für die Kapitalkosten des nur im Winter laufenden Spitzendieselmotors abzuziehen sind. Die Nettoersparnis betrug also 2847 £ = rd. 58000 RM./Halbjahr, womit die Anlagekosten des Spitzenaggregates von rd. RM. 200000,— in $3^1/_2$ Jahren herausgewirtschaftet worden sind.

Bei der anderen englischen Anlage, die in einem Betriebsjahr 1736300 kWh abgesetzt und eine Hochstleistung von 893 kW aufgewiesen hat, wurde die Benutzungsdauer der Hochstlast von 1940 h/Jahr der Gesamtanlage auf

4460 h/Jahr des Dampfkraftwerks und
965 h/Jahr der Spitzendieselmotorenanlage

umgestellt und damit gegenuber dem Bezug der ganzen Strommenge auf Grund eines Grund- und Leistungsgebuhrentarifes aus der Überlandleitung eine Ersparnis von etwa 2000 £ = rd. 40000 RM. jährlich erzielt.

III. Richtlinien und Baugedanken für den Entwurf von Spitzen- und Reservekraftwerken mit Dieselmotoren

a. Die Brauchbarkeit der Dieselmotoren für den Spitzen- und Reservedienst der Elektrizitätswirtschaft

In dieser Beziehung gelten im wesentlichen die folgenden Anspruche der Elektrizitätswerke an die Dieselmotoren fur obige Zwecke als Richtlinien:

1. Hohe Leistung der Maschineneinheiten zur Anpassung an die heutigen Belastungsverhältnisse und an die bereits absehbare Entwicklung sehr großer Stromversorgungsgebiete durch Zusammenschluß vieler Einzelgebiete mit weitgespannten Hochspannungsnetzen.

2 Hohe Arbeitsgeschwindigkeiten (Drehzahl und Kolbengeschwindigkeit) und starke Anspannung des Baustoffs (leichte Bauart, hohe mittlere Verbrennungsdrücke) sowie äußerst gedrängte Bauart zur Senkung der Anschaffungskosten des maschinellen und des baulichen Teils und der dadurch verursachten Kapitalkosten.

3. Einfachste Bedienung zur Verminderung der Bedienungskosten.

4. Kürzeste Anlaßzeit zur Erfüllung der besonderen Betriebsanforderungen des Spitzen- und Reservedienstes.

b. Die Bauart der Spitzendieselmotoren

1. Doppeltwirkende Zweitaktmaschinen

Es unterliegt keinem Zweifel, daß diese Forderungen beim heutigen Stand der Technik am vollkommensten von doppeltwirkenden, schnelllaufenden Zweitaktmaschinen mit luftloser Brennstoffeinspritzung erfüllt werden können und daß nur die noch in weiter Ferne liegende Schaffung eines kurbellosen Dieselmotors — einer Dieselturbine — diese Tatsache umstoßen kann.

2. Einfachwirkende Zweitakt-Dieselmotoren

Der Vollständigkeit wegen ist noch nachzutragen, daß auch Dieselmotoren dieser meist langsam laufenden Bauart für den Spitzen- und Reservedienst verschiedener Elektrizitätswerke geliefert sind und sich gut bewährt haben, wenn sie auch bezüglich Anlagekosten und Platzverbrauch den Wettbewerb mit den doppeltwirkenden Zweitaktmaschinen nicht aufnehmen können.

3. Viertaktmotoren

Diese kommen, wie an anderer Stelle begründet ist, als einfachwirkende kompressorlose Einheiten mittelgroßer und kleiner Leistung in den Ortsnetzen von Überlandkraftwerken für den örtlichen Spitzen- und Reservedienst zur Aufstellung, gegebenenfalls auch in gewerblichen Betrieben, um die Sicherheit der Stromlieferung zu erhöhen oder die Überschreitung vertraglich festgelegter Höchstmengen der Stromentnahme aus Überlandnetzen zu vermeiden. In diesen Fällen handelt es sich meist um mäßige Leistungen, die 1000 kW nur selten überschreiten und in der Regel zwischen 500 und 700 kW liegen.

Wenn auch im Schiffsmaschinenbau neben den einfach- und doppeltwirkenden Zweitaktmaschinen auch noch einfach- und doppeltwirkende Viertaktmaschinen von großer Einzelleistung gebaut werden, so hat sich die Überlegenheit der doppeltwirkenden Zweitaktbauart doch für den Spitzen- und Reservedienst der Elektrizitätsversorgung nach den eingangs erwähnten Richtlinien bei großen Leistungen einwandfrei erwiesen. Demnach kommen große Viertaktmaschinen für diesen Zweck nicht ernstlich in Frage, es erübrigt sich daher, auch noch weiter auf

diesen Wettstreit der Zweitakt- und der Viertaktbauarten einzugehen, abgesehen vielleicht von einigen Bemerkungen über die Bestrebungen, die Viertaktmotoren durch *Aufladen* fur die Zwecke des Spitzen- und Reservedienstes großerer Leistung tauglich zu machen und den Zweitaktmaschinen nach Leistung und Anlagekosten fur die Leistungseinheit die Spitze zu bieten.

Durch Vorverdichtung der den Zylindern zugeführten Luft ist es ohne weiteres moglich, die Leistung der Viertaktmotoren um etwa 25% und mehr gegenüber dem Betrieb mit freiem Ansaugen zu steigern. Bei Dieselmotoren, die in hochgelegenen Gebirgsorten aufgestellt werden, macht man allgemein von diesem Kunstgriff Gebrauch, um den Einfluß des infolge der Höhenlage verminderten Luftdrucks auf die angesaugte Luftmenge und damit auf die Leistung der Motoren auszugleichen.

Durch Ausnutzung der Auspuffgase zum Antrieb eines Auflade-Turbogebläses mit einer Abgasturbine kann die Mehrleistung auf 50 bis sogar 100% gegenüber der Selbstansaugung gesteigert werden, wenn die Verbrennungsräume, Triebwerke usw. hierfur entsprechend eingerichtet sind.

Die Mehrkosten des Geblases und der ziemlich verwickelten Auspuff- und Auflade-Rohrleitungen zehren aber einen Teil der durch die Mehrleistung angestrebten Vorteile des Aufladeverfahrens wieder auf. Auch büßt der Dieselmotor den großen Vorteil seiner sofortigen Betriebsbereitschaft ohne Anwarmen u. dgl. und der kurzen Anlaßzeit aus dem kalten Zustande teilweise dadurch ein, daß die Verbrennungsraume für den *Auflade*betrieb, d. h. für *vorverdichtete* Luft bemessen werden müssen. Vor dem Anlassen der Abgasturbine stellt sich demnach infolge des vergrößerten Kompressionsraumes eine verminderte Luftverdichtung in den Zylindern ein, zumal auch der Reibungswiderstand (Drosselung) der Luft in den Rohrleitungen der Auflademaschinen hoher ist als bei nicht dafür vorgesehenen Maschinen mit freier Ansaugung und offenem Auspuff. Dadurch wird die Verdichtung und die Temperatur der verdichteten Luft in den Zylindern herabgesetzt und das Anlassen aus dem kalten Zustande erschwert, besonders in der kalten Jahreszeit, wenn die Maschinen besonders fur den Spitzendienst der Elektrizitätsversorgung herangezogen werden müssen. Demnach mussen die Dieselmotoren dieser Aufladebauart mit Abgas-Turbogeblase usw. zur Sicherung des Zündens mit einer Anwarmevorrichtung versehen werden, um ein sicheres Anlaufen zu gewahrleisten, dies ist als eine sehr unerwünschte Betriebserschwerung anzusprechen und stellt die sofortige Betriebsbereitschaft der Maschine in Frage, besonders wenn im Falle einer Störung die Dieselmotoren in der vielleicht ganz stromlosen und unbeleuchteten Spitzen- und Reserveanlage moglichst schnell anlaufen sollen. Diese grundsatzlichen Übelstande des Aufladeverfahrens bei Viertaktmaschinen sind zweifellos recht schwerwiegend und beeinträchtigen seine Anwendung in so hohem Maße, daß derartige Maschinen für den Spitzen- und Reservedienst nicht in Betracht kommen, sondern nur für Schiffs- und Lokomotivantrieb u. dgl

c. Baugedanken für den Entwurf von Spitzen- und Reservekraftwerken mit Dieselmotoren

Diese erstreben eine moglichst einfache und ubersichtliche Gesamtanordnung und die Verwendung genormter Einheitstypen von Dieselmotoren, Generatoren, Schaltanlagen und von sonstigen Einzelteilen, um die Anlagekosten für die Leistungseinheit auf ein Mindestmaß zu

Abb. 2a. Umspannwerk Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitatswerks A.-G. Berlin. — Gesamtanordnung von 2 Spitzendieselmotoren von je 11700 PS_e Grundriß.

Abb 2b. Umspannwerk Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitätswerks A.-G. Berlin. — Gesamtanordnung von 2 Spitzendieselmotoren von je 11700 PS_e. Aufriß.

beschranken. Abb. 2 zeigt die typische Anordnung der Spitzen- und Reserve-Dieselmotorenanlage des Umspannwerks Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitätswerks Berlin. Die beiden doppeltwirkenden Zehnzylinder-Zweitaktdieselmotoren von je 11700 PS_e bei 214 U/min treiben uber ausrückbare, mit Öldruck betätigte Reibungskupplungen zwei

c. Baugedanken für den Entwurf von Spitzen- und Reservekraftwerken mit Dieselmotoren

Diese erstreben eine möglichst einfache und übersichtliche Gesamtanordnung und die Verwendung genormter Einheitstypen von Dieselmotoren, Generatoren, Schaltanlagen und von sonstigen Einzelteilen, um die Anlagekosten für die Leistungseinheit auf ein Mindestmaß zu

Abb. 2a. Umspannwerk Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitätswerks A.-G. Berlin. — Gesamtanordnung von 2 Spitzendieselmotoren von je 11700 PS_e Grundriß.

Abb. 2b Umspannwerk Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitätswerks A.-G. Berlin — Gesamtanordnung von 2 Spitzendieselmotoren von je 11700 PS_e. Aufriß.

beschränken. Abb 2 zeigt die typische Anordnung der Spitzen- und Reserve-Dieselmotorenanlage des Umspannwerks Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitätswerks Berlin. Die beiden doppeltwirkenden Zehnzylinder-Zweitaktdieselmotoren von je 11700 PS_e bei 214 U/min treiben über ausrückbare, mit Öldruck betätigte Reibungskupplungen zwei

Abb 3a. Umspannwerk des Markischen Elektrizitatswerks Hennigsdorf A.-G Berlin. — 1 Spitzendieselmotor von 11700 PS_e in Werkmontage.

Abb. 3b. Umspannwerk Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitatswerks A.-G. Berlin. — 1 Spitzendieselmotor von 11700 PS_e mit Drehstromgenerator von 10000 kVA.

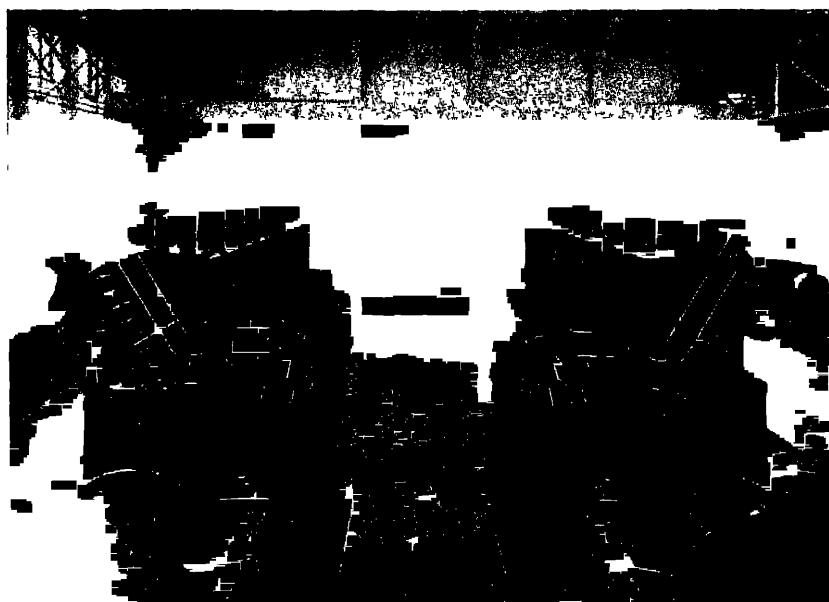



Abb 4 Umspannwerk Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitätswerks A.-G Berlin — Innenansicht des Maschinenraumes

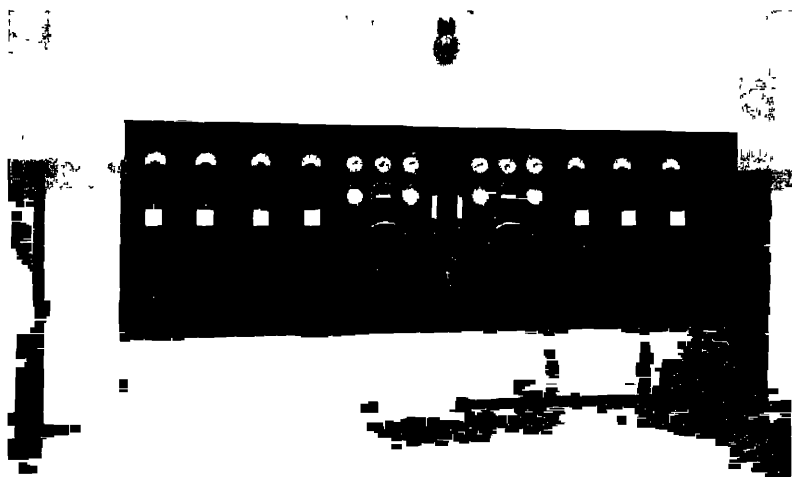



Abb 5 Umspannwerk Hennigsdorf des Markischen Elektrizitätswerks A.-G Berlin — Anlaß- und Bedienungsschaltbrett der 2 Spitzendieselmotoren.

Schwungrad-Drehstromgeneratoren von je 10000 kVA an, die bei einem $\cos\varphi = 0{,}8$ je 8000 kW brutto und nach Abzug des Kraftverbrauchs der Spulgeblase Kuhlwasser- und Schmierölpumpen je 7500 kW netto leisten. Die Hilfsmaschinen stehen in einem besonderen Maschinenraume hinter der Dieselgeneratorenhalle, an die sich andererseits die Schaltanlage und das eigentliche Umspannwerk anschließt. Treppen, Kellerlöcher, Podeste u dgl. Verkehrshindernisse sind in den Maschinenräumen möglichst vermieden, um Unfällen und Aufenthalten der Bedienungsmannschaft beim schnellen Anlassen der vielleicht ganz stromlosen und unbeleuchteten Anlage in Storungsfallen vorzubeugen. Alle

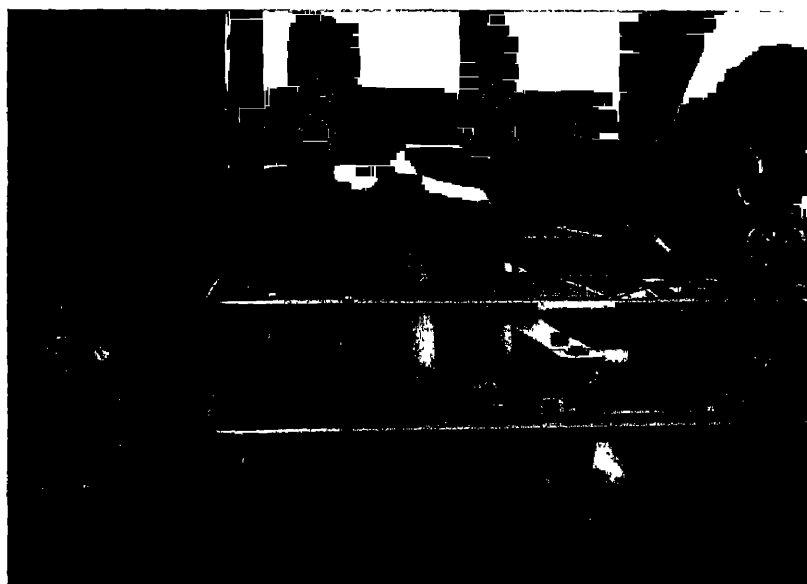



Abb. 6. Umspannwerk Hennigsdorf des Märkischen Elektrizitatswerks A.-G. Berlin. — Reibungskupplung zwischen Dieselmotor und Generator.

Organe und Instrumente zum Anlassen, Bedienen und Parallelschalten der Maschinen sind an einer Zentralstelle in Form einer Schalttafel zusammengefaßt und fehlgriffsicher verblockt und gekuppelt. Auch werden beide Maschinen mit *einem* Handgriff zugleich mit Druckluft angelassen. Dies geschieht mit den *unteren* Zylinderseiten von 5 Zylindern, wobei den ubrigen Zylindern sofort Brennstoff zugeführt wird, was das Anlassen der Maschinen sehr beschleunigt. Das Anlassen kann in Notfallen auch mit verdichteter Kohlensaure, also auch bei entleerten Druckluftflaschen, sicher durchgefuhrt werden Die Generatoren werden im Ruhezustande durch eine Akkumulatorenbatterie mit *Selbstschalter* erregt, um beim plötzlichen Anlassen der stromlosen Anlage die Spulgeblase zusammen mit den Dieselmotoren hochzufahren, wozu die Drehstrommotoren der Spulgeblase im Ruhezustand elektrisch mit den

einer Großeinheit gemäß Punkt 1. und 2. Die Anlagekosten dieser langsamlaufenden Maschine stellen sich natürlich infolge ihres hohen Gewichtes verhältnismäßig hoch für die Leistungseinheit; auch ist der Platzverbrauch ziemlich groß.

Wesentlich günstiger gestalten sich Spitzendieselmotoren großer Leistung nach Abb. 8 als Muster einer Großeinheit gemäß Punkt 2. und 3. Nimmt man 12 Zylinder einer Maschineneinheit und eine Drehzahl von 214 bei 900 mm = 3 ft. Hub (Kolbengeschwindigkeit 6,45 m/s = 1270 ft./min) als das vorläufige Höchstmaß an, so ergibt die Doppelmaschine mit 2×12 Zylindern, Typ 2×D 12 Zu 60/90 der MAN bei 600 mm = 2 ft. Zylinderdurchmesser eine Leistung von 28000 PS_e entsprechend einer Nutzleistung von 18000 kW des Drehstromgenerators, der beispielsweise als Schwungradmaschine mit ausgeprägten Polen

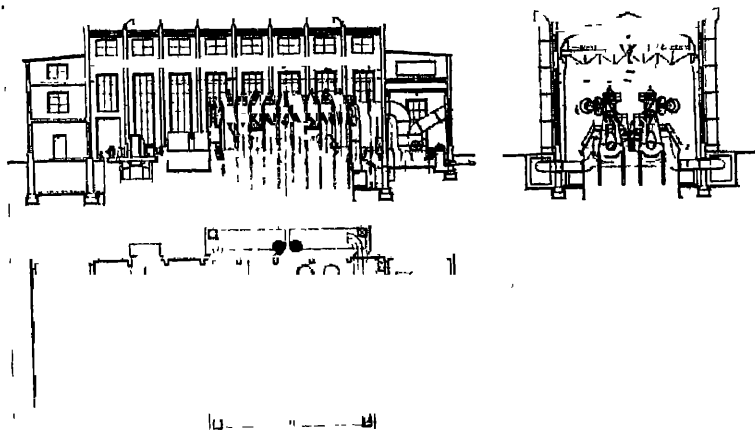



Abb. 7. Spitzendieselmotor von 41000 PS_e. Bauart MAN. Doppelmaschiene mit 2 × 8 Zylindern von 980 mm Durchmesser und 1300 mm Kolbenhub, 136U/min mit Vulcankupplungen und Zahnräder-Übersetzungsgetriebe.

nach Art eines Wasserturbinengenerators mit Drehzahlen zwischen 500 und 1000/min ausgeführt werden kann. Bei 2×10 Zylindern gemäß Abb. 8 sind die entsprechenden Werte 2×11700 PS_e = 15000 kW Nutzleistung Ob zwischen die Dieselmotoren und den Generator Vulkankupplungen (gemäß Abb. 7 und 8) oder ein- und auskuppelbare Reibungskupplungen (gemäß Abb 6) oder nur starre oder elastische Flanschkupplungen eingebaut werden, hängt von den örtlichen Verhältnissen des Spitzenkraftwerkes ab, insbesondere davon, ob der Generator außerhalb der Spitzenzeit als Phasenschieber verwendet werden soll oder nicht.

Nach den an Bord von Schiffen (M.S. „Milwaukee“ und M.S „St. Louis“ der H.A.L.-Hamburg) gesammelten Erfahrungen liegen gegen diese Kupplung mehrerer Dieselmotoren mit einer angetriebenen Welle mit Einschaltung von Zahnräderübersetzungsgetrieben keinerlei Be-

denken vor; man kann sogar unbedenklich 4 Dieselmotoren mit einem Generator kuppeln und kommt damit auf Einheiten von beispielsweise 56000 PS_e entsprechend 39000 kW des Generators. Nach Abzug des Eigenverbrauchs der Hilfsmaschinen (Spülgebläse und Kühlwasser- und Schmierölpumpen) ergibt sich demnach eine Nutzleistung der Vierlingsmaschinen mit 4 × 12 Zylindern der oben angegebenen Abmessungen von etwa 36000 kW, womit auf absehbare Zeit wohl allen Forderungen der Großkraftwerke Genüge geleistet werden dürfte. Ein besonderer Vorzug dieser Bauart ist die Verwendung vieler gleicher Zylinder, Gestelle, Triebwerke und Armaturen bestbewährter und genormter Ausführung, womit eine einheitliche Massenfertigung und damit eine

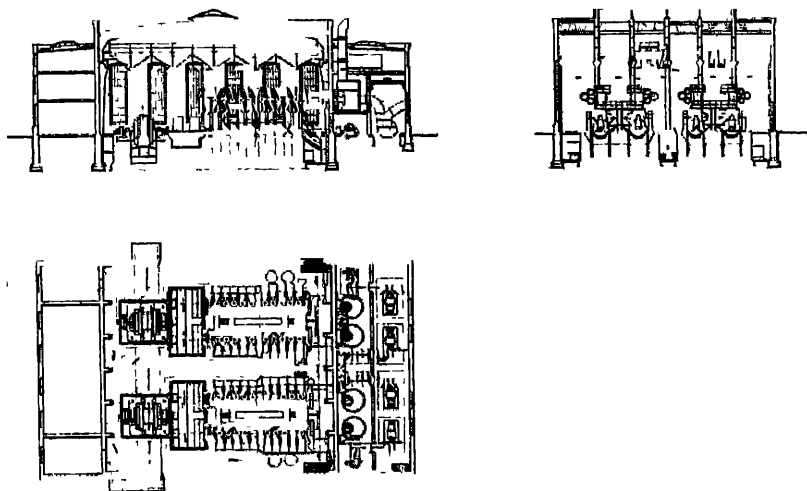



Abb 8 2 Spitzendieselmotoren von je 23400 PS_e Bauart MAN Doppelmaschinen mit je 2 × 10 Zylindern von 600 mm Durchmesser und 900 mm Kolbenhub, 214 U/min mit Vulcankupplungen und Zahnräder-Übersetzungsgetrieben.

günstige Preisstellung, bezogen auf die Leistungseinheit, ermöglicht wird. Die Bedeutung dieses Gesichtspunktes für die Wirtschaftlichkeit des Spitzen- und Momentan-Reservedienstes der Großkraftversorgung bedarf keiner weiteren Unterstreichung

Eine Lösung des vorliegenden Problems gemäß Punkt 4. (Sonderbauarten) liegt zwar beim heutigen Stand der Technik im Bereich der Möglichkeit, zum Antrieb von Kriegsschiffen sind schnellaufende Hochleistungsmaschinen besonderer Bauart von der MAN entwickelt worden.

Für ortsfeste Anlagen sind diese Sondertypen bisher noch nicht verwendet worden, auch dürften diese Maschinen für den Zweck der Spitzendeckung nur in besonderen Ausnahmefällen in Betracht kommen und sollen hier nicht weiter untersucht werden.

Für die Aufnahme *örtlicher* Belastungsspitzen von *Bezirks- und Ortsnetzen* der Großkraftwerke und einzelner Großabnehmer kommen je

nach den Betriebsverhaltnissen kompressorlose, doppelt- oder einfachwirkende Zweitaktmaschinen mit 3 bis 12 Zylindern, und kompressorlose, einfachwirkende Viertaktmotoren mit 3 bis 8 und mehr Zylindern je nach den benotigten Leistungen in Betracht.

Die Ausstattung vorhandener Umspannwerke mit solchen Spitzendieselmotoren mittlerer und kleiner Leistung bietet auch als zeitweilige *Zwischenlösung* unübersehbarer Stromlieferungsprobleme den Großkraftwerken den besonderen Vorteil, daß Neubauten von kostspieligen Fernleitungen und Transformatoren hinausgeschoben werden können, wenn die Spitzenstromaufnahme vorhandener Stromabsatzgebiete sich dem zulässigen Leistungsgrenzwert der Leitungs- und Umformeranlage nahert, aber die Verlegung einer neuen teuren Hochspannungsleitung nebst Nebenanlagen sich noch nicht lohnt. Durch Abschneiden der ortlichen Belastungsspitzen kann so die Leistungsfähigkeit und die Ausnutzung vorhandener Hochspannungsnetze wirksam gesteigert und die Festlegung von Baugeldern für neue, vorläufig schlecht ausgenutzte Fernleitungen hinausgeschoben oder erspart werden. Dieses Verfahren empfiehlt sich besonders fur abgelegene und weniger aufnahmefähige Stromabsatzgebiete, bei denen die Ausnutzung der Betriebsmittel besonders ungunstig und der Bau kostspieliger Fernleitungen unwirtschaftlich ist. In manchen solcher Fälle dürfte es sogar ratsam sein, von dem Bau der Fernleitungen zunächst ganz abzusehen und als zeitweilige Zwischenlösung nur Dieselmotoren aufzustellen, die dem vorläufig übersehbaren Stromabsatz genügen und später nach der Fertigstellung der Fernleitung und der Umformeranlage den Spitzen- und Reservedienst des Bezirks- oder Ortsnetzes übernehmen. Fur dieses planmäßige Zusammenarbeiten der Großkraftversorgung mit ortlichen Spitzendieselmotorenanlagen sind zweifellos noch aussichtsreiche Zukunftsmöglichkeiten vorhanden, die wirtschaftlich vorteilhafte Losungen auch für die Stromversorgung abgelegener Gebiete im Rahmen der Groß-Elektrizitatswirtschaft versprechen, ohne übertrieben große Geldaufwendungen für schlecht ausgenutzte Fernleitungen u. dgl. zu beanspruchen. Man muß dabei noch bedenken, daß die Fernleitungen nur *sekundare* Betriebsmittel, die Dieselmotoren aber *Primär*einheiten mit erheblich hoherem Nutzungswert sind, was bei der Beurteilung dieser Fragen nicht unbeachtet bleiben darf.

V. Zukunftsausblicke als Schlußbemerkungen: Die Kupplung der Elektrizitäts- und der Gaswirtschaft durch Anbahnung einer Interessengemeinschaft auf Grund gegenseitiger Ergänzung und planmäßiger Zusammenarbeit

Das Ziel aller Ingenieurarbeit auf dem vorliegenden Gebiete ist die Rationalisierung der Energieversorgung der Verbraucher im weitesten Sinne. Dazu muß eine gegenseitige Ergänzung und ein wirksames Zusammenarbeiten der verfügbaren Betriebsmittel in Form einer Interessengemeinschaft angebahnt und eine gegenseitige Bekämpfung in Form eines unwirtschaftlichen und unsachlichen Wettbewerbs vermieden werden. Niemand wird beispielsweise heute mehr bestreiten, daß die

Erzeugung der Grundlast unserer Elektrizitätsversorgung den mit Dampf- und Wasserkraft betriebenen Großkraftwerken vorbehalten bleibt, die dabei hohe Benutzungszeiten der Höchstlast ihrer Maschineneinheiten und damit einen Höchstwert der Wirtschaftlichkeit erreichen.

Niemand wird heutzutage leugnen, daß die Verteilung der Grundlast auf weiteste Entfernungen mit den Hochspannungsleitungsnetzen wirtschaftlich und betriebssicher durchgeführt werden kann; es steht auch fest, daß überhaupt keine ernsten Einwendungen gegen die Stromversorgung der Verbraucher mit den verfügbaren Betriebsmitteln der heutigen Elektrizitätswirtschaft erhoben werden können.

Zweifelhaft bleibt nur, ob es richtig ist, die Spitzenlast, die nur 4 bis 5% der Strommenge in kWh ausmacht, aber zeitweilig bis rd. 50% der Höchstlast in kW beansprucht, mit Großkraftwerken zu erzeugen, auch wenn sie in Speichern für Dampf- oder Kraftwasser gespeichert wird, um die Täler der Belastungsschaubilder nach Möglichkeit auszufüllen.

Mit großer Wahrscheinlichkeit ist vielmehr anzunehmen, daß die neuzeitlichen *Verbrennungskraftmaschinen* — besonders wenn sie in den Schwerpunkten der Versorgungsgebiete aufgestellt werden — wegen ihrer sofortigen Betriebsbereitschaft ohne Brennstoffverbrauch im Ruhezustande hierfür wesentlich vorteilhafter sein werden, in erster Linie Dieselmotoren, in bestimmten Fällen aber auch Gasmaschinen, diese im Zusammenarbeiten mit Ferngasversorgungsanlagen oder zum Verarbeiten von Überschußgas von Gaswerken und Kokereien, wie zum Schluß noch kurz gestreift werden soll.

Anstatt der jetzt noch oft vorkommenden Bekämpfung muß ein verständnisvolles Zusammenarbeiten der Elektrizitäts- und der Gaswerke und eine sachlich auszutragende Aufteilung der Versorgungsgebiete angebahnt werden. Es ist z. B. beim heutigen Stande der Technik bereits mit guten Aussichten des technischen und wirtschaftlichen Erfolges möglich:

1. flüssige Brennstoffe zum Betriebe von Dieselmotoren durch die Schwelung fester Brennstoffe vor deren Verbrennung unter den Kesseln der Elektrizitätswerke zu gewinnen (Schwelkraftwerke);
2. flüssige Brennstoffe für den Betrieb von Dieselmotoren aus den Nebenprodukten der Gaswerke und der Kokereien in ausreichenden Mengen und zu wettbewerbsfähigen Preisen zu erzeugen;
3. feste Brennstoffe zu verflüssigen;
4. gasförmige Brennstoffe außer für die Gasversorgung auch für den Betrieb von Gasmaschinen für Spitzendeckungszwecke in ausreichenden Mengen und zu wettbewerbsfähigen Preisen bereitzustellen, wobei die Speicherung des Gases in Großgasbehältern den Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch des Gases für die angegebenen Zwecke vorteilhaft ermöglicht.

Dadurch ergeben sich folgende Erkenntnisse:

Flüssige und gasförmige Brennstoffe, hergestellt aus heimischen Stein- und Braunkohlen, ergänzen sich in recht vollkommener Weise; sie gewährleisten im Wettbewerb mit den eingeführten flüssigen Brennstoffen die gesicherte Betriebsstoffversorgung der Spitzenkraftmaschinen

Beispiele vorhandener Dieselmotorenspitzen- und Reservekraftanlagen

Lfd. Nr	Kraftwerk (Aufstellungsort)	Leistung	Aufstellungsjahr
a	Große doppeltwirkende Zweitakteinheiten (über 10000 PS_e Einzelleistung)		
1	Hamburg (Neuhof) . .	1×15000 PS_e	1926
2	Hennigsdorf b. Berlin . .	2×11700 „	1929
b.	Mittelgroße einfachwirkende Zweitakteinheiten (über 2000 PS_e Einzelleistung)		
3	Bremen	2×3000 PS_e	1913/14
4	Genf	2×3000 „	1929
c	Kleine einfachwirkende Zweitakt- und doppelt- und einfachwirkende Viertakteinheiten (bis 2000 PS_e Einzelleistung)		
5	Au im Allgäu . .	2×2000 PS_e	1929
		2× 500 „	1926
6	Gröba . .	3×1700 „	1920
7	Halle a S . . .	3×1600 „	1911—1913
8	Eggenfelden . .	1×1700 „	1922
		1× 700 „	1922
9	Neustadt i Mecklenbg . . .	1×1500 „	1924
10	Kottbus .	1×1450 „	1928
11	Madrid (Untergrundbahn) .	3×1500 „	—
12	Etupes (Société des Forces Motrices du Refrain)	3×1500 „	—
13	Würzburg .	2×1200 „	1924—1926
		1×1000 „	
14	Baden-Baden	1×1200 „	1928
		1× 800 „	1923
15	Enzberg	1×1000 „	1919
		1× 700 „	1922
		1× 200 „	1910
16	Regensburg	1×1000 „	1913
17	Quedlinburg . .	1×1050 „	1928
18	Erlangen .	1× 900 „	1926
		1× 520 „	—
19	Nordhausen . .	1× 825 „	1927
		2× 540 „	1925—1927
20	Goslar	1× 650 „	1926
		1× 420 „	1922
21	Landau . .	1× 730 „	1928
		1× 420 „	1922
		1× 250 „	1921
	außerdem in den englischen Spitzenkraftwerken		
		Gesamtleistung	
22	Southend on Sea:		Anlagen sehr verschiedener Art, teilweise mit umgebauten deutschen U-boot-Motoren der MAN ausgerüstet
	London Road Station	3300 kW	
	Leigh-on-Sea Station	2580 „	
	Thorpe Bay Station	750 „	
23	Charing Cross Electricity Supply Co, London	3350 „	
24	Letchworth Electricity Works Letchworth	890 „	
25	Maidenhead Corporation Maidenhead	670 „	
26	Gillingham Corporation Gillingham	2025 „	
	außerdem im		
27	Shannonkraftwerk in Irland	7× 520 PS_e	
28	Kraftwerk Miraflores des Panamakanals	3×3750 „	

der Elektrizitätswirtschaft und sind auch geeignet, eine angemessene Preisstellung der ausländischen Betriebsstoffe im freien Handel aufrechtzuerhalten.

Also widerlegen die Punkte 1. bis 3. das oft gegen die Dieselmotoren gehegte Vorurteil, daß ihre Betriebsstoffversorgung ausschließlich von der Einfuhr ausländischer Gasöle abhängt und daher die Handelsbilanz des Landes ungünstig beeinflußt. Es ist vielmehr nochmals festzustellen, daß die ausländischen Gasöle wohl gewisse *technische* Vorzüge vor Steinkohlenteerölen aufweisen und deswegen für den Spitzenbetrieb trotz ihres Mehrpreises zu bevorzugen sind, daß aber das einheimische Steinkohlenteeröl besonders für den *Dauerbetrieb* größerer Dieselmotoren durchaus geeignet ist.

Punkte 2. und 4. beweisen, daß die oben angestrebte Interessengemeinschaft zwischen Elektrizitäts- und Gaswirtschaft in vielen Fällen durchführbar sein wird durch eine planmäßige Bewirtschaftung der verfügbaren Betriebsstoffe für die Kraft-, Licht- und Wärmeversorgung des Landes nach folgenden Gesichtspunkten.

1 Steinkohle, Braunkohle und Kraftwasser für die Grundlast der Elektrizitätsversorgung mit Dampf- und Wasserkraftmaschinen;

2. Steinkohle und gelegentlich Braunkohle für die Gasversorgung;

3 Gasöl zum Betrieb von Spitzendieselmotoren;

4. Koksofengas und Überschuß-Leuchtgas zum Betrieb von Spitzengasmaschinen und

5. Steinkohlenteeröl für den Dauerbetrieb größerer Dieselmotoren unter den oben angegebenen Voraussetzungen.

Anhang

Das vorhandene internationale Schrifttum über Spitzendieselmotoren

Die Anwendung des Dieselmotors als Spitzen- und Reservemaschine für Großkraftwerke und die dabei maßgebenden technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte sind bereits ausgiebig in der internationalen Fachpresse behandelt und in den wesentlichen Einzelheiten geklärt worden Erwähnt seien die folgenden Aufsätze, die den Gang der Entwicklung dieser Fragen in den letzten Jahren kennzeichnen (Auswahl).

1 *in deutscher Sprache:*

a von *M Gercke*-Augsburg

Großdieselmotoren als Reserve- und Spitzenmaschinen von Großkraftwerken. E T Z 1925, Heft 24 Neudruck von Sonderabzügen 1929

Die Belastungsverhältnisse der deutschen Großkraftwerke und die Verbesserung ihrer wirtschaftlichen Folgen durch Spitzen-Großdieselmotoren Elektrizitätswirtschaft 1926, Heft 407/408

Die Betriebsstoffversorgung der deutschen Großdieselmotorenanlagen Elektrizitätswirtschaft 1926, Heft 409/410

Spitzendeckung mit Großdieselmotoren E T Z. 1927, Heft 26. (Referat vor der Hauptversammlung 1927 des Verbandes Deutscher Elektrotechniker in Kiel)

Fragen der deutschen Elektrizitätswirtschaft Technik und Wirtschaft 1927, Heft 6

Einfach- und doppeltwirkende Viertakt- und Zweitakt-Dieselmotoren als Großkraftmaschinen. Sonderheft: Dieselmaschinen III des V. D. I. 1927, S 13.

Bemerkungen zur Frage der Spitzendeckung bei Großkraftwerken. Elektrizitätswirtschaft 1928, Heft 456.

Großdieselmotoren-Anlagen. Die Wärme 1928, Heft 43 und Das Industrieblatt 1929, Heft 14.

Dieselmotoren als Zusatz -und Spitzenkraftmaschinen in Dampfkraftwerken. Die Wärme 1929, Heft 18.

Spitzendieselmotoren in den Ortsnetzen englischer Überland-Dampfkraftwerke. Das Kommunale Elektrizitätswertk 1929, Heft 4.

b. *P. v. Schuh*-Augsburg:
Großdieselmotoren in Elektrizitätswerken Elektrizitätswirtschaft 1927, Nr. 436

c. *A. Buchi*-Winterthur.
Erzeugung von Spitzen- und Ersatzkraft für Überland- und Bahnkraftwerke. Sonderheft Dieselmaschinen III des V. D. I. 1927, S. 1.

d. *W. Laudahn*-Berlin:
Der 15000-PS-Dieselmotor Die Abnahmeprufung des 15000-PS-Dieselmotors. Sonderheft Dieselmaschinen III des V. D. I. 1927, S 53 u. 61.

e. *A. Naegel*-Dresden:
Der Stand des Großdieselmaschinenbaues. Elektrizitätswirtschaft 1925, Heft 387.

2. *in englischer Sprache*·

a. von *M Gercke*-Augsburg:
Some Considerations Regarding the Peak-Load Problem and High-powered Peak-Load Diesel Engines Publication S. 85 of the Diesel Engine Users Association, London S.W 3, May 1928.
The Large Diesel Engine and its Uses Engineering Progress 1929, Nr. 3.
The Utilization of Diesel Engines in German Power Houses. National Electric Light Association, Foreign Developments, Serial Reports of the Prime Movers Committee New York, May 1929.

b. *P. v Schuh*-Augsburg
Large Diesel Engines for Electricity Works A. E G -Progress, Vol. IV, Nr. 5/6, May/June 1928.

c. *A. Büchi*-Winterthur·
Diesel Engines and Hydro-electric Power Stations. The Engineer 1925, Nr. 3631/3632.

d *A. H Dykes*-London:
The Use of Diesel Engines for Peak Load Supply. The Engineer 20 Januar 1928.

e *J Kuttner*-New York
Diesel of 15000 kW as Efficiency Boosters for Steam Station of 60000 kW. Oil Engine Power, November 1928

3. *in französischer Sprache:*

M. Gercke-Augsburg.
Les Gros Moteurs „Diesel" comme Machines de Reserve et de Secours dans les Grandes Usines de Force Motrice L'Usine Belge, Juni 1927.

4. *in spanischer Sprache:*

M. Gercke-Augsburg:

Instalaciones con motores Super Diesel. El Progreso de la Ingenieria 1929, Nr 4.

P. v. Schuh-Augsburg

Motores Super-Diesel para Centrales Eléctricas. La A. E. G. al Dia, Tomo IV, Nr. 5/6, Mayo/Junio 1928.

Außerdem zahlreiche kleinere Presseberichte und Mitteilungen in den Tages- und Fachzeitschriften nahezu aller Kulturstaaten.

Ferner gibt es viele Anlagen dieser Art bei gewerblichen Betrieben (Maschinenfabriken, Textilwerken, Brauereien, Gummifabriken usw.)

Summary

Starting with a general comparison of the overall economy of steam- and Diesel installations, based on the heat consumption per 1 kWh and on the fuel price per 1 ton of high-grade coal and gas oil respectively, the authors prove that high-powered Diesel engines cannot compete as a rule economically with high-quality steam-installations, as far as raising the *base* load of the electricity supply in districts with cheap coal supply is concerned On the other hand the Diesel engines are the best qualified *peak-load* and *stand-by* prime movers for the electricity supply, because they are constantly fit and ready for immediate starting and for full-load service at any time, without preliminary preparations, without useless consumption of fuel and without any wear and tear in state of readiness for action before starting and after stopping, which compares very favourably with steam operated peak-load machinery. Comparing the standard fuels for Diesel engines, the fair proportion of the prices of gas oil and tar oil is considered in connection with their qualification for driving Diesel engines. Turning to the main topic of the paper, the authors point out that gas oil is the best qualified fuel for peak-load Diesel engines, because it secures the quickest and safest cold-starting of Diesel engines, which is essential for the peak-load service; further the influence of the initial costs (capital service) and fuel costs upon the total production costs per 1 kWh of peak-load, is shown in a diagram for different circumstances.

The next chapter deals with the general tendencies and constructional ideas regarding the layout of peak-load and stand-by installations with Diesel engines and with the individual qualification of the different types of Diesel engines for these purposes, resulting in the superiority of the double-acting two-stroke system with airless fuel injection for high-powered installations and of the single-acting four-stroke system with airless fuel injection for medium size and for small plants, especially in the local areas of supply of super-power plants and of their sub-stations and feeding points i. e. in the centre of the electricity consumption. As a typical example of such modern installations the sub-station Hennigsdorf of the Maerkisches Elektricitätswerk A. G. Berlin fitted with 2 peak-load Diesel engines of 11 700 BHP each, corresponding to 8000 kW gross and 7500 kW net capacity with ten double-acting two-stroke cylinders of 2 ft. diameter and 3 ft. stroke and with a speed of 214 revolutions per minute, is demonstrated including a short description of some details of the technical equipment for controlling and quick starting of the engines with a minimum of attendance; finally the results of the trial run in comparison with those of the Hamburg-Neuhof installation of 10 500 kW are reproduced.

The requirements of the electricity supply on a large scale in the near future aim at the development of the total capacity of peak load Diesel engines per set to much larger units then those supplied so far (Hamburg-Neuhof: 10 500 kW

and Hennigsdorf· 2×7500 kW). Of course the Diesel engine is not supposed to compete in size with some types of the latest monster sets of steam-and water turbines, but Diesel sets of remarkable output per unit may be constructed with full chances of success, according to the following suggestions:

1. with increased dimensions per cylinder-unit (diameter and stroke),
2. with increased number of cylinders per engine,
3. by coupling several engines with speed-up toothed-wheel gears for driving high-speed generators;
4. by developing special super high-speed and super high-efficiency engines.

Points 1 and 3 result for instance in double-acting two-stroke sets of 28000 kW net capacity with 2×8 cylinders of 3 ft 2 "diameter and 4 ft. 3" stroke with a speed of 136 revolutions per minute of the Diesel engines and 750 r p m of the generator.

Point 2. and 3. may be realised for instance by high-speed double-acting two-stroke sets of 15000 kW with 2×10 cylinders and of 18000 kW with 2×12 cylinders respectively of 2 ft. diameter and 3 ft stroke with speeds of 214 r p.m of the Diesel engines and 500 to 1000 r.p m of the generators.

Based on successful experiences on board of Motor-ships ("Milwaukee" and "St. Louis" of the Hamburg-Amerika-Linie, Hamburg) 2 and even 4 sets of Diesel engines may be coupled by gears to one shaft, driving a big generator. This suggestion leads for instance to total net capacities of 30000 and 36000 kW according to points 2. and 3. with 4×10 and 4×12 cylinders respectively

Super high-speed types of Diesel engines according to point 4 have been supplied by the MAN for driving warships, but not for stationary plants so far, and are not considered at all.

Dealing with the operating conditions of large "grid" systems of far-distance power transmission, Diesel engines are suggested for *temporary* purposes i e. for saving expensive installations or extensions of long overhead lines and cables, which may soon approach their maximum load capacity during the peak-load times, specially in districts of a limited average consumption of electricity (for instance in agricultural districts), where capital investments for overhead lines will not pay in consequence of the bad load factor. Local Diesel sets which may later on be utilized as peak-load and stand-by sets are much more economical in such cases.

The following chapter suggests a close cooperation instead of competition between the electricity-and gas-works, based on a fair distribution of the mutual areas of supply of light, power and heat and on a careful and economical utilisation of all kinds of fuel such as coal, natural and artificial (low and high temperature carbonisation) oils and gas, for the combined purposes of up-to-date engineering and public service, in order to produce electricity as well as gas with a minimum of cost and with a maximum of economy, efficiency and safety of operation.

A short review is given of the international literature about the peak-load problem and the rôle of the Diesel engines in coping with it, a list of the existing Diesel peak-load installations in several countries is reproduced, followed by some considerations about the main features and the merits of the Diesel engines for this purpose and some practical results of existing installations in figures and facts.

Schweiz

Über die Entwicklung der Verbrennungsmotoren in der Schweiz

Schweizerisches Nationalkomitee.

Prof. P. Ostertag.

Dieser Bericht ist einer der Berichte, um deren Erstattung der Autor durch das Schweiz Nationalkomitee der Weltkraftkonferenz gebeten wurde.

Überblick

In der Schweiz ist der Verbrennungsmotor mit Verwendung von flüssigen Brennstoffen — insbesondere der schweren Destillate des Rohöls — von hervorragender Bedeutung geworden und hat den Bau der Gasmotoren stark zurückgedrängt. Der Großgasmotor kommt in unseren Gegenden mangels Hochofenbetriebe überhaupt nicht zur Verwendung und ist daher nie gebaut worden, kleinere Gasmotoren finden sich heute nur noch in Betrieben, wo die Gaserzeugungsanlagen mit brennbaren Abfällen gespeist werden können.

Der vorliegende Bericht kann sich deshalb der Hauptsache nach darauf beschränken, einen gedrängten Überblick über die Entwicklung des Dieselmotors zu geben, dessen Bau bei uns eigene Wege eingeschlagen und Weltruf erlangt hat

Die nachweisbaren Erfolge des schweizerischen Maschinenbaues auf diesem Gebiet sind im wesentlichen verursacht durch zwei Faktoren. Durch viele Jahrzehnte hindurch konnte sich in den führenden Firmen der Schweiz ein Stab von Ingenieuren entwickeln, der nicht nur die theoretischen Grundlagen der inneren Vorgänge beherrscht, sondern der in hervorragendem Maße das konstruktive Gefühl zur Geltung bringt, das beim Entwerfen einer guten Maschine unentbehrlich ist. Es darf an die prächtigen Dampfmaschinen erinnert werden, die im vorigen Jahrhundert aus den Winterthurer Werken hervorgegangen sind. Diese damals allein herrschenden Wärmekraftmaschinen galten als vorbildlich für die technische Welt. Der Geist jener genialen Konstrukteure hat sich erhalten und in der heutigen Generation weiter entwickelt, er kommt in den Aufgaben der Neuzeit zur sichtbaren Wirkung

Der zweite Faktor zum Erfolg ist in der mustergültigen Werkstattausführung enthalten. Dort wird von einer Auswahl zuverlässiger Arbeiter ein Qualitätsprodukt geliefert, wie es für den empfindlichen Dieselmotor unerläßlich ist, wo sich heftige Druck- und Temperaturschwankungen in Bruchteilen von Sekunden wiederholen.

Von Wichtigkeit ist die Auswahl des Werkstoffes für alle Teile, große Anforderungen werden an die Gießerei gestellt. Für die Abgüsse wird dichtes Gefüge verlangt, es gilt dies insbesondere für die Zylindereinsätze, die Kolbenringe und die Zylinderdeckel. Bei der Formgebung ist streng darauf zu achten, daß einseitige Materialansammlungen vermieden werden, damit bei der thermischen Ausdehnung Zusatzspannungen nicht entstehen können. Größte Sorgfalt ist auf eine allseitige Wasserkühlung zu legen, denn es kann leicht vorkommen, daß heiße Teile vom Wasserumlauf ausgeschlossen sind und sich dort Wärmestauungen ergeben, die gefährlich sind.

So ist denn das fertige Produkt das Ergebnis der Zusammenarbeit aller Beteiligten und keiner von ihnen hat das Recht, den Erfolg für sich allein in Anspruch zu nehmen. Bedingung für das Gelingen ist, daß jeder an seinem richtigen Ort steht und dort seine ganze Persönlichkeit zur Geltung bringt. Schließlich ist jeder äußere Erfolg auf die persönliche Tüchtigkeit der am Werk arbeitenden Menschen zurückzuführen.

In wirtschaftlicher Hinsicht folgt aus diesen Verhältnissen, daß die Gestehungskosten unserer schweizerischen Qualitätswaren naturgemäß höhere sind als dort, wo weniger strenge Anforderungen an die Herstellung gelten. Dazu kommt das Fehlen von Rohstoffen und Kohlen, sowie der relativ hohe Stand der Lebenshaltung der schweizerischen Beamten und Arbeiter. Wer schweizerische Erzeugnisse vorzieht, muß sich mit höheren Preisen abfinden und muß bedenken, daß die höhere Betriebssicherheit der Maschine leicht imstande ist, den Unterschied im Anschaffungspreis auszugleichen. Eine einzige Unterbrechung im Fabrikbetrieb kann großen Schaden verursachen, insbesondere gilt für den Dieselmotor der Satz: Nur das Beste ist gut genug.

An dieser Entwicklung sind in der Schweiz zwei Großfirmen beteiligt, die beide ihren Sitz in Winterthur haben, daneben beschäftigen sich einige andere Firmen mit dem Bau kleinerer Dieselmotoren für Sonderzwecke.

Gebrüder Sulzer A.-G. Winterthur

Sofort nach dem Bekanntwerden der epochemachenden Schrift *Rudolf Diesels* anfangs der 90. Jahre des vorigen Jahrhunderts hatte sich die Firma Gebrüder Sulzer mit ihrem früheren Konstrukteur in Verbindung gesetzt und sich an der Verwirklichung des vorgeschlagenen rationellen Wärmemotors beteiligt. Zunächst wurde der Bau des Viertakt-Dieselmotors aufgenommen und zu einer betriebssicheren Maschine ausgebildet. Die Firma hat diesen Typus für kleinere und mittlere Leistungen bis heute beibehalten, sie ist aber nicht dabei stehengeblieben, sondern hat als erste Gesellschaft den Zweitaktmotor geschaffen zu einer Zeit, als die meisten anderen Fabriken noch lange mit großer Zähigkeit am Viertakt festhielten. Erst mit dem Zweitakt konnte sich der Dieselmotor zu der Großkraftmaschine entwickeln, wie er heute als Hauptmaschine in Elektrizitätswerken oder als Momentanreserve zur Überwindung von Kraftspitzen weite Verbreitung gefunden hat. Eine ungeahnte Entwicklung hat der Zweitaktmotor im Schiffsbetrieb erlangt, wenigstens dort, wo große Leistungen verlangt werden, während

kleinere Schiffe sehr gut mit dem einfachen Viertaktmotor fahren konnen.

Mehr und mehr kommt die Überzeugung auch in anderen Ländern zum Durchbruch, daß der Großdieselmotor im Zweitakt arbeiten soll, die progressiv steigende Jahresleistung ist ein sprechendes Zeichen hierfür.

Der Aufbau des einfach wirkenden Zweitaktmotors ist in Abb. 1 dargestellt. Das durch Patent geschützte Merkmal dieser Bauart besteht darin, daß die Spulluft durch eine doppelte Reihe von Schlitzen ein-

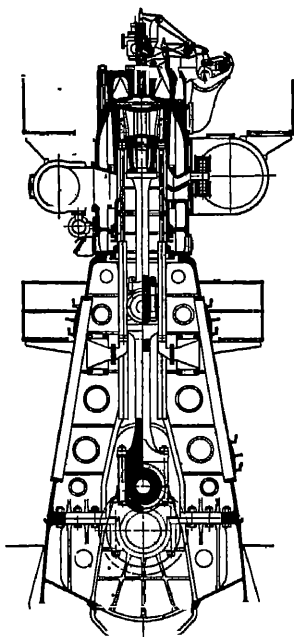



Abb. 1.

gegeben wird, die seitlich am Zylinder sitzen und ihn zur Hälfte umgeben. Die obere Schlitzreihe wird durch selbsttätige Ventile bis zum Ende des Arbeitshubes geschlossen gehalten, während nur die untere Reihe durch den Kolben gesteuert wird. Auf diese Weise erhält der Zylinder eine wirksame Kuhlung bei niedrigem Spüldruck. Auch die Ausströmung erfolgt durch Schlitze, die gegenuber den Spulluftschlitzen angeordnet sind. Damit ergibt sich der schatzenswerte Vorteil, daß der Zylinderdeckel von allen großen Ventilen befreit werden kann, er erhält nur einen einzigen zentralen Einsatz zur Aufnahme des Brennstoff- und des Anlaßventiles. Dieser hohle Deckel läßt sich nun als reiner Rotationskorper ausbilden, damit ist er von Wärmespannungen geschützt trotz der hohen Temperaturen, denen seine Innenwand während der Verbrennung ausgesetzt ist. Einen guten Vergleich zwischen dem Deckel eines Viertakt- und eines Zweitaktmotors zeigt Abb. 2

Die Doppelschlitzspülung kann ferner benutzt werden, wenn zwei verschiedene Luftpumpendrucke zur Verwendung gelangen sollen

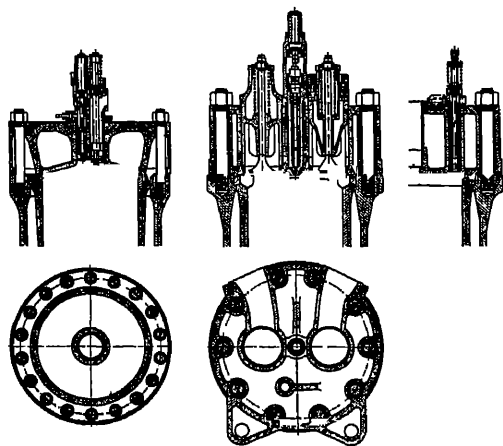



Abb. 2.

(Abb. 3). Hier erhält die obere Schlitzreihe nicht nur von den selbsttätig sich öffnenden Ventilen Spülluft, sondern wird nachher noch

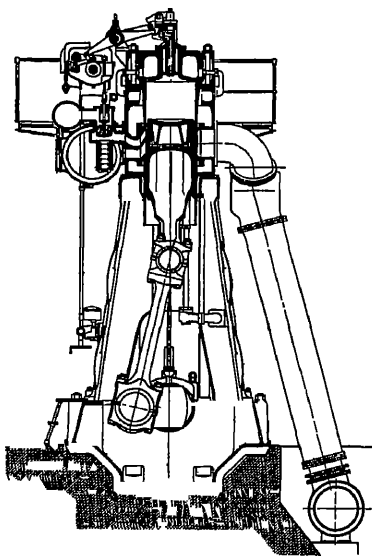



Abb. 3

mit Luft von etwas höherem Druck gespeist, sobald sich das gesteuerte Doppelsitzventil öffnet, nachdem der aufwärtsgehende Kolben die Auspuffschlitze geschlossen hat. Diese Zusatzluft wird in besonderer

Aufladepumpe auf den gewünschten Druck gebracht. Es kommt also vorverdichtete Luft in den Zylinder, d. h. dem Gewicht nach eine größere Menge, der Motor kann nun auch mehr Brennstoff vertragen, wodurch eine Leistungssteigerung zustande kommt. Motoren dieser Bauart sind seit 3 Jahren im Betrieb.

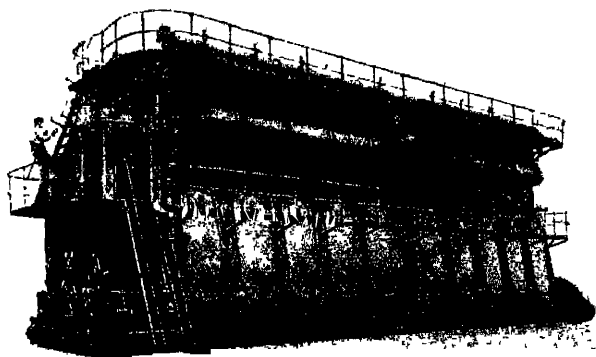



Abb. 4.

Nach diesen Grundsätzen sind viele der großen Schiffsmaschinen ausgeführt, dort wird die Spülluft in besonderen Turbogeblasen erzeugt, die ihren Antrieb durch Elektromotoren erhalten. In Abb. 4 ist eine solche

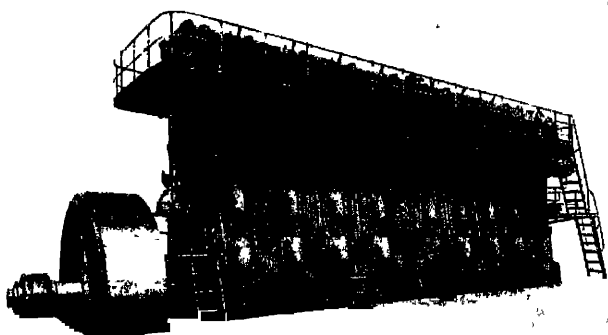



Abb. 5.

Maschine mit 10 Zylindern dargestellt, sie leistet 7000 PS bei 10 U/min. Eine größere Zahl solcher Einheiten arbeitet im Dienste einer niederländischen Schiffahrtsgesellschaft in Passagierschiffen von 24000 t.

Für stationäre Anlagen kommen ebenfalls immer größere Einheiten in Gebrauch Eine der größten Licht- und Kraftwerke mit mehreren Dieselmotoren von je 5500 bis 6300 P befindet sich in der chinesischen Hafenstadt Shanghai im ununterbrochenen Betrieb (Abb. 5)

Da der Dieselmotor aus dem kalten Zustand anspringt und in wenigen Minuten auf volle Leistung gebracht werden kann, eignet er sich ganz besonders als Momentanreserve für Kraftwerke, die mit Wasser oder Dampf arbeiten. Die Wasserkraftanalgen mit Speicherwerken verschlingen ungeheure Summen Anlagekapital, und es kann sich doch fragen, ob die Bewältigung der obersten Spitzen der Verbrauchskurve nicht besser und billiger von einer Dieselmotorenanlage übernommen werden sollte. Dieselbe Frage taucht auf, wenn sich außergewöhnlich trockene Jahre einstellen, wo die Wasserwerke ihren Verpflichtungen kaum mehr nachkommen können. Eine Dieselmotorenanlage würde sofort aushelfen können. Schon beim Bau des Wasserwerkes wäre der Einfluß einer solchen Kombination merkbar. Man könnte das Wasserwerk größer bauen, d. h. für eine mittlere Wassermenge entwerfen. Würde die Menge unter dieses Mittel sinken, so wäre der Dieselmotor zum sofortigen Einspringen bereit.

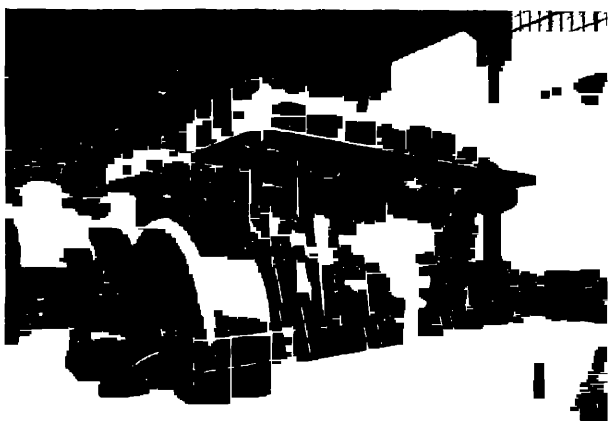



Abb. 6

In der Schweiz finden sich bereits einige derartiger Kombinationen. Das Elektrizitätswerk der Stadt Genf besitzt Dieselmotoren von je 3000 PS (Abb. 6) in vier Zylindern. Sie sind mit Aufladung bei mäßigem Überdruck ausgestattet, wodurch eine dauernde Leistungserhöhung um 20% möglich ist. Die Leistung läßt sich demnach in weiten Grenzen dem Bedarf anpassen, ohne daß die Wirtschaftlichkeit darunter leidet.

Um die Leistungsfähigkeit eines Zylinders von gegebenen Abmessungen auf beinahe den doppelten Betrag zu bringen, ist man dem Beispiel der Dampfmaschine gefolgt und hat den Zylinder doppelwirkend ausgeführt. Gebrüder Sulzer haben auch für diesen Fall den Zweitakt beibehalten. Die Abb. 7 und 8 zeigen den einzylindrigen Versuchsmotor, der die größte bis jetzt bekannte Zylinderleistung von 2400 PS bei 120 U/min aufweist. Er besitzt eine einzige Reihe von Auspuffschlitzen und drei Reihen Spülluftschlitze. Die Steuerung für die Zusatzluft

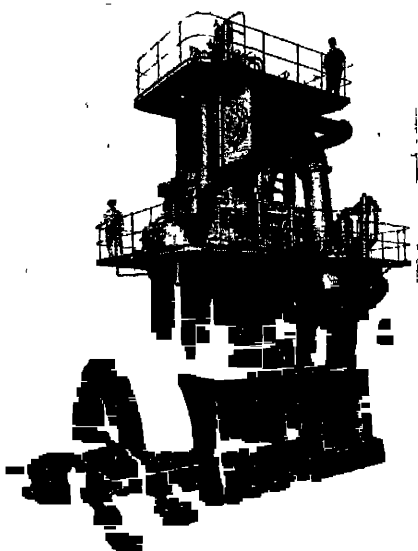



Abb. 7.

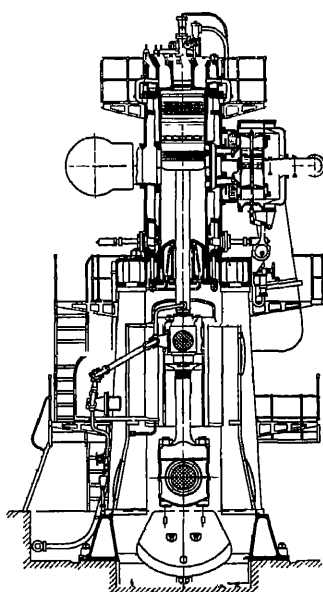



Abb. 8.

zur Aufladung erfolgt durch Exzenter und Kolbenschieber. Auf der oberen Kolbenseite ist der linsenförmige Verbrennungsraum beibehalten worden, auf der unteren Seite muß der Brennstoff aus zwei Düsen seitlich eingespritzt werden, damit eine genügende Mischung mit dem Sauerstoff der Luft stattfindet. Die entstehenden Wirbel begünstigen die Ver-

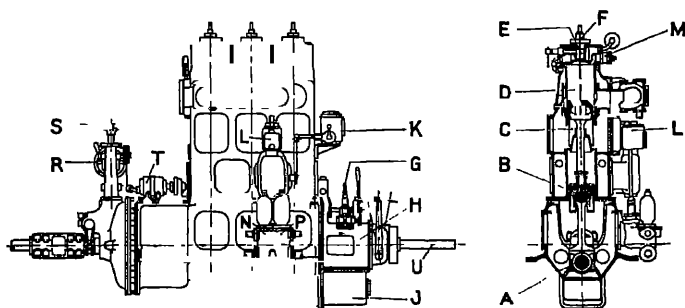



Abb 9.

brennung, die sich rings um die Kolbenstange fortpflanzt. Durch die hohle Kolbenstange muß das zum Innern des Kolbens fließende Kuhlwasser hin- und zurückgeleitet werden.

Abb. 10.

Eine vorteilhafte Durchbildung im Sinne einer Vereinfachung ist bei Zweitaktmotoren mittlerer Große zu beobachten (Abb. 9 und 10). Um ein Heißlaufen des Kolbens auszuschließen, ist auch hier nach dem Muster der großen Schiffsmotoren Kreuzkopf mit Kolbenstange und Führung angeordnet. Damit wird die Moglichkeit geschaffen, eine Zwischenwand mit Stopfbüchse einzusetzen. Der untere Zylinderteil mit dem Arbeits-

kolben ist nun zu einem abgeschlossenen Raum geworden, der als Spülluftpumpe dienen kann. Als weiterer Vorteil ergibt sich, daß das im Kurbelkasten befindliche Schmieröl von der Pumpe ferngehalten wird, auch wird das Verschmutzen des Öles durch die Brennstoffrückstände vermieden. Tatsächlich brauchen diese Motoren sehr wenig Schmieröl, und ihre Lebensdauer ist groß. Die Motoren sind ihrer Einfachheit wegen beliebt für kleinere stationäre Anlagen, sowie für Hilfsmaschinen im Schiffsdienst, wo sie entweder direkt umsteuerbar oder mit Wendegetriebe ausgerüstet werden. Die elektrische Zentrale Ica (Peru) besitzt drei solcher Maschinen mit insgesamt 600 PS (Abb 9).

Die Einführung des Brennstoffes in den Zylinder hat seit der von *Rudolf Diesel* verwendeten Zerstäubung mittels Druckluft bedeutende Wandlungen durchgemacht. Für die eben beschriebene Maschine mittlerer Größe verwenden Gebrüder Sulzer das sog. Vorkammersystem

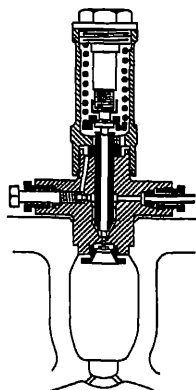



Abb. 11. Brennstoffventil eines kompressorlosen Dieselmotors.

(Abb. 11). Das auf dem Deckel sitzende Brennstoffventil öffnet sich unter dem Druck des zugepumpten Brennöles selbsttätig und läßt die zu einer Verbrennung nötige Brennstoffmenge in die Vorkammer einströmen. Dort befindet sich bereits etwas Sauerstoff, den der Arbeitskolben während der Verdichtung hineingebracht hat, so daß ein kleiner Teil des verdampfenden Öles verbrennen kann. Der entstehende Überdruck jagt den übrigen Brennstoff durch eine Verteilerdüse in den eigentlichen Verbrennungsraum im Zylinder. Man erhält auf diese Weise mit verhältnismäßig kleinem Überdruck eine luftfreie Zerstäubung

Für zahlreiche Zwecke wird auch von Gebrüder Sulzer der Viertaktmotor empfohlen, sein Aufbau ist in Abb 12 ersichtlich Die vier Zylinder sind einzeln auf den gemeinsamen Kurbelkasten aufgesetzt. Die Steuerwelle ist in ihrem Öltrog in erreichbarer Höhe eingebettet, zufolge dieser tiefen Lage kann sie durch mehrfache Stirnräder angetrieben werden, was eine Vereinfachung gegenüber der senkrechten Welle mit den doppelten Schraubenrädern bedeutet.

Für kleinere Frachtschiffe kommen Viertaktmotoren mit direkter Umsteuerung zur Verwendung (Abb 13, 300 PS, 300 U/min, 6 Zylinder)

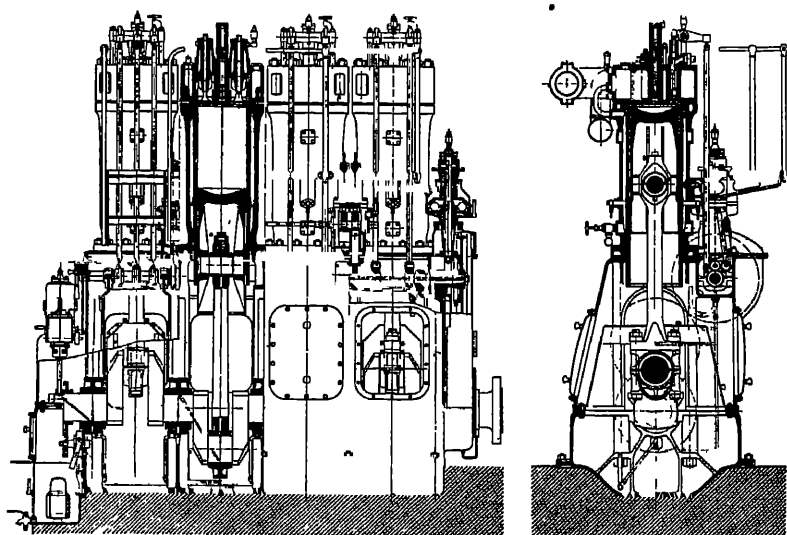



Abb 12.

Die Einspritzung des Brennstoffes erfolgt ohne Luft nach dem Vorkammersystem. Noch kleinere Schiffsmotoren erhalten als Umsteuerung ein Wendegetriebe.

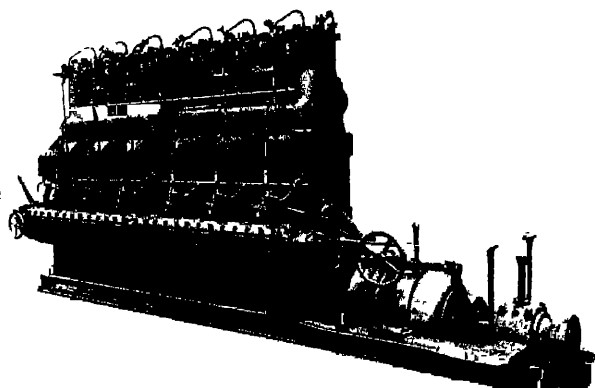



Abb. 13.

In der Schweiz ist bis heute die Diesellokomotive für normale Vollbahnen noch nicht gebaut worden, obschon verschiedene Studien in dieser Richtung zu verzeichnen sind. Als wesentlicher Grund dieser

Zuruckhaltung ist wohl der glanzende Erfolg im Umbau des schweizerischen Eisenbahnnetzes auf elektrischen Betrieb zu nennen, womit die reichen Wasserkrafte des Landes fur den Bahndienst nutzbar gemacht sind. Auf allen Hauptlinien fahren gegenwartig elektrische Lokomotiven mit uber 2000 PS. Mit diesen großen Leistungen lassen sich die Steigungen spielend überwinden, ohne Einschrankung der Fahrtgeschwindigkeit, die betrachtlich großer ist als beim fruheren Dampfbetrieb. Da man mit weniger Bedienungsmannschaft auskommt, stellen sich kleinere Betriebskosten ein. Für den Reisenden wird nicht nur die verkurzte Fahrzeit, sondern ebensosehr die Sauberkeit des Betriebes angenehm empfunden. Alle diese Vorteile sind derart schwerwiegend, daß die elektrische Traktion selbst dort in Frage kommen durfte, wo Wasserkrafte fehlen, wo also der Strom in Dampfzentralen hergestellt werden müßte.

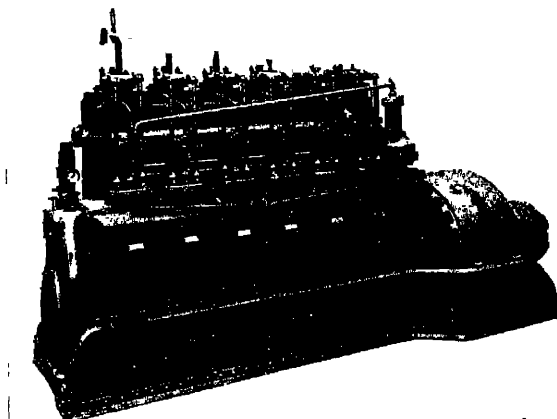



Abb 14

Die Diesellokomotive fur Vollbahnen wird sich daher wahrscheinlich nur in solchen Landern einfuhren lassen, die über Roholquellen verfugen.

Für Sonderzwecke ist dagegen der schnellaufende Dieselmotor in kleineren Lokomotiven viel ausgefuhrt worden, sei es auf die Geleiseanlagen großer Fabrikbetriebe, sei es fur schmalspurige Bahnen. Für den Vorortsverkehr ist der Triebwagen beliebt. In Abb. 14 ist ein 250-PS-Dieselmotor für solche Verwendung dargestellt; er besitzt 6 Zylinder und lauft mit 775 U/min. Die Arbeitskolben bestehen aus Aluminium Die Übertragung auf die Triebachsen erfolgt auf elektrischem Wege. Diese Maschine hat besonders leichte Bauart erhalten mit weitgehender Benutzung von Stahlguß.

Schweizerische Lokomotiv- u. Maschinenfabrik Winterthur

Diese Gesellschaft hat den Bau von Verbrennungsmotoren im Jahre 1886 aufgenommen, vorerst sind Benzin- und Gasmotoren mit den zugehorigen Gaserzeugungsanlagen entstanden, die sich einen guten Namen erworben und weite Verbreitung gefunden haben.

An der Entwicklung des Dieselmotors hat sich die Fabrik ebenfalls erfolgreich beteiligt und ist eigene Wege gegangen. Insbesondere wurde der Viertakt-Dieselmotor zu einer marktfähigen und sicher arbeitenden Maschine ausgebaut. Eine Vereinfachung ist durch die luftfreie Zerstäubung zu verzeichnen, sei es nach der Methode der Vorkammerzundung, sei es durch direkte Einspritzung unter hohem Druck.

Mit besonderer Sorgfalt ist das Aufladeverfahren nach *System Büchi* ausgebildet worden. Die Vorverdichtung der Aufladeluft geschieht in einem besondern rasch laufenden Turbogeblase, das von einer Abgasturbine angetrieben wird. Hierzu werden die Auspuffgase benützt, die dem Dieselmotor mit einem etwas uber dem normalen Druck und der entsprechend hohen Temperatur entweichen und der nahen Gasturbine zufließen. Durch diese Vorverdichtung der Ladeluft entsteht eine Leistungsvermehrung von etwa 50 %, sie kann bei Überlast bis zum doppelten Betrag gegenüber der gewohnlichen Arbeitsweise ansteigen. Umgekehrt vermindert sich bei gleicher Leistung das Gewicht des Motors und beträgt ungefähr 70 % desjenigen des gewohnlichen Prozesses.

Der thermische Prozeß der Auflademotoren vollzieht sich innerhalb größerer Druckgrenzen, denn im Arbeitszylinder beginnt die Kompression bei 0,2 bis 0,3 at Überdruck und endigt in der Nahe von 40 at. Wahrend der Verbrennung nimmt der Druck nicht mehr wesentlich zu. Trotzdem bleiben die Temperaturen ungefahr in denselben Grenzen wie im normalen Vorgang, die Materialien sind demnach bezüglich Temperaturschwankungen nicht schlechter gestellt Man erkennt diese Verhältnisse leicht durch Aufzeichnen des Entropiediagrammes; durch die Aufladung verschiebt es sich waagerecht nach links, da die Vorverdichtung einer Verkleinerung des Entropiewertes der Verbrennungsluft gleichkommt.

In jedem Zylinder stellt sich ein großerer mittlerer Druck, d h eine größere indizierte Leistung ein, die Leerlaufsarbeit ist aber von der Aufladung unabhangig; hieraus folgt, daß der Motor mit Aufladung einen größeren mechanischen Wirkungsgrad aufweist als ein solcher ohne diese Einrichtung Messungen haben ergeben, daß dieser Unterschied 7 bis 8 % beträgt, die *Büchi*-Maschine kommt demnach mit dem mechanischen Wirkungsgrad auf 77 bis 82 %. Hierin liegt die Erklarung für die überraschende Tatsache, daß der Auflademotor nicht nur denselben, sondern sogar einen etwas niedrigeren Brennstoffverbrauch aufweist als das gewohnliche Verfahren.

Eine weitere Verbesserung erreicht *Buchi* dadurch, daß er einen Teil der Ladeluft zum Ausblasen des Zylinders benutzt, bevor die neue Ladung eingegeben wird. Die Reste der Verbrennungsrückstände werden also aus dem Zylinder ausgetrieben, wodurch er befahigt wird, mehr reine Luft aufzunehmen. Diese Bedingung wird erfüllt, wenn sich das Einstromventil für die Ladeluft zu offnen beginnt, bevor das Ausstromen zu Ende ist. Wahrend dieses Spulens konnen sich die Ventile an der durchströmenden Luft abkühlen, was namentlich dem Auspuffventil nützlich ist, das unter den hohen Temperaturen am meisten zu leiden hat.

Bei der Verwendung dieses Verfahrens kann es sich nur um mehrzylindrige Motoren handeln, die mit gemeinsamem Auspuffrohr aus-

gerüstet sind. Nun ergeben sich bei einer Viertaktmaschine mit 6 Zylindern Auspuffstoße, die sich einander in je 120° Kurbelwinkel folgen und Druckschwellungen von gleicher Periode erzeugen. Ist eine einzige Auspuffleitung vorhanden, so müßte ein Zylinder durch seinen Auspuffstoß die Spülung eines benachbarten Zylinders stören, was unzulässig ist. Die Spülung muß während der Zeit der stärksten Drucksenkung im Auspuffrohr erfolgen, damit man mit einem mäßigen Ladedruck auskommen kann. Diese Forderung ist erfüllt, wenn man je 3 Zylinder, deren Auspuffstoße um 240° voneinander abweichen, zu einer Gruppe zusammenfaßt und die Abgase durch zwei getrennte Auspuffrohre den entsprechend geteilten Beaufschlagungsbogen der Abgasturbine zuführt. Auf diese Weise gelingt es, die gewünschten Mengen von Spülluft in den Totpunktraum der Zylinder zu pressen und die Zylinder wirksam von den Verbrennungsrückständen zu reinigen.

Von Einzelheiten sei erwähnt, daß das Auspuffventil eine Spindel aufweist, die mit kleinen selbstspannenden Kolbenringen versehen ist zur Abdichtung nach außen. Um das Festbrennen der Spindel zu verhüten, ist ihre Führung durch Wasser gekühlt.

Das von Brown, Boveri & Cie., Baden, hergestellte Gebläse ist zweistufig mit drehbaren Leitschaufeln für die Niederdruckstufe. Die einstufige Gasturbine sitzt fliegend an einem Wellenende. Nimmt die Belastung des Dieselmotors zu, so steigt auch der Auspuffdruck, d. h. der Gasdruck vor der Turbine. Das Gebläse nimmt nun selbsttätig eine höhere Drehzahl an und liefert eine beträchtlich größere Luftmenge als bei Nennleistung. Darin liegt der Grund der bedeutenden Leistungssteigerung beim System *Büchi*. Trotzdem bleibt die Verbrennung auch bei 30% Überlast vollkommen und es zeigt sich der Auspuff rein. Nach Versuchen von *Stodola* (Zeitschrift V.D.I. 1928, 421) vermindert die Aufladung den Brennstoffverbrauch um etwa 4%, was hauptsächlich dem größeren mechanischen Wirkungsgrad zuzuschreiben ist. Ferner verkleinert sich der Kühlwasserbedarf. Die erwähnten Versuche ergaben, daß das Kühlwasser bei $^4/_4$-Belastung nur eine Wärme von 408,5 kcal/PSh abführen muß.

Der Auflademotor nach System *Büchi* ist an der internationalen Ausstellung in Barcelona 1929 zum erstenmal öffentlich vorgeführt worden (750 PS, 300 U/min). Ein 3000-PS-Auflademotor ist seit kurzem in Sevilla zur Aufstellung gelangt.

Für die Zukunft entsteht die wichtige Frage, ob sich die Aufladung nach System *Büchi* auch am Zweitaktmotor verwenden läßt, der Dieselmotor würde damit eine weitere Steigerung seiner Leistung erfahren ohne wesentliche Gewichtszunahme. Wie sich die Maschine bei stark veränderlicher Leistung verhält, kann nur durch die Erfahrung festgestellt werden.

Von den zahlreich ausgeführten Diesellokomotiven der genannten Firma sei der Schmalspurtypus erwähnt, der an die siamesischen Staatsbahnen geliefert worden ist. Der 200-PS-Dieselmotor läuft mit 300 bis 500 U/min und entwickelt eine maximale Zugkraft von 5200 kg bei 1000 mm Spurweite. Das Leergewicht beträgt 22,2 t und das Dienst-

gewicht 23,5 t Der Motor arbeitet im Viertakt mit 6 Zylindern und luftloser Einspritzung des Brennstoffes. Ein kleiner Kompressor dient nur zur Erzeugung der Anlaßluft

Die Übertragung der Leistung auf die Triebachsen geschieht auf mechanischem Wege und zwar mit dem durch Patente geschützten Geschwindigkeitswechselgetriebe. Es erlaubt 5 Stufen einzuschalten, entsprechend den Zugsgeschwindigkeiten 7, 13, 20, 28 und 40 km/h. Die 5 auf der Primarwelle sitzenden Ritzel befinden sich mit den auf der Sekundarwelle lose angeordneten Zahnrädern standig im Eingriff. Letztere sind hohl und enthalten Reibungskupplungen, mit leicht auswechselbaren Lamellen aus Stahl und Bronze. Durch Betätigung eines Schalthahnes kann Drucköl in eine der 5 Kupplungen geleitet werden, wodurch die gewünschte Geschwindigkeit eingeschaltet ist. Das Einrücken erfolgt stoßfrei, ohne daß die Zahnräder ausgerückt werden müssen.

Alle Bedienungshebel und Kontrollapparate sind derart angeordnet, daß die Maschine von einem einzigen Mann bedient werden kann.

Mit dieser Lokomotive wurden am 25. Februar 1928 Versuchsfahrten auf der Strecke Landquart—Chur—Disentis der rhätischen Bahnen vorgenommen. Diese Strecke ist 74 km lang und überwindet einen Höhenunterschied von 606 m. Die Höchststeigung beträgt 27 auf 1000 m, ferner sind zahlreiche Kurven bis zu 120 m kleinstem Radius zu durchlaufen. Der Probezug hatte ein Gesamtgewicht von 70 t Auf der Talstrecke Landquart—Ilanz betrug der Brennstoffverbrauch 7,9 g/tkm im Mittel für Berg- und Talfahrt. Auf der Bergstrecke Ilanz—Disentis 19 g/tkm. Diese günstigen Werte sind einerseits dem niedrigen Verbrauch des Motors an sich und andererseits dem hohen Wirkungsgrad des Getriebes zu verdanken.

Sonderkonstruktionen

Die für Kraftwagen und Flugzeuge in der Schweiz gebauten Verbrennungsmotoren stehen außerhalb des Rahmens dieses Berichtes, dagegen sind noch einige Sonderkonstruktionen zu erwähnen, die für kleinere industrielle Betrieb, als Antriebe von elektrischen Generatoren und insbesondere für die Landwirtschaft in Betracht kommen können.

Solche Rohölmotoren baut die Maschinenfabrik W. Koch & Cie. in Zürich in 7 Größen entsprechend 6 bis 50 PS Der Zweitaktprozeß erfolgt in einem einzigen Zylinder, der Kurbelkasten ist geschlossen und dient als Spülpumpe. In ähnlicher Weise arbeiten die Motoren der Firma Weber & Cie. in Uster Die Motoren beider Firmen zeichnen sich durch große Einfachheit aus

Résumé

En Suisse, le développement des moteurs à combustion interne s'est concentré sur la construction du moteur Diesel tandis que la fabrication du moteur à gaz s'est considérablement diminuée.

Pour les puissances petites le moteur à quatre temps est souvent préféré. On emploie à présent des dispositifs d'injection de combustible sans air comprimé,

soit avec explosion partielle dans une chambre d'allumage, soit avec injection directe par pompe à haute pression

L'évolution vers le moteur de très forte puissance s'est aussi établi en Suisse avec un succès complet, un fait connu à l'étranger La maison Sulzer frères à Winterthour est la principale protagoniste du cycle à deux temps Tous les détails de ce type sont maintenant tellement perfectionés, que la sûreté de la marche est devenue parfaite. On trouve donc cette belle machine dans les centrales électriques, dans les usines hydrauliques comme réserve momentanée et, surtout comme moteur actionnant dans les navires et cela aux conditions les plus sévères.

Pour augmenter la puissance, la maison Sulzer a commencé à construire des moteurs à double effet, où la combustion se produit des deux côtés toujours en conservant le principe du cycle à deux temps pur les deux côtés du piston.

Un autre moyen d'augmenter la force, c'est l'alimentation du cylindre avec de l'air précomprimé dans une turbo-soufflante.

La Société Suisse pour la construction de locomotives et de machines à Winterthour a adopté le procédé de l'ingénieur Buchi pour les moteurs à quatre temps. Ce système est caractérisé par le fait que les gaz d'échappement quittant les cylindres sont conduits à une turbo-soufflante qui alimente les soupapes d'aspiration du moteur en air précomprimé à une pression de remplissage.

Schweiz

Bemerkenswertes über die Entwicklung im Verbrennungsmotorenbau

Schweizerisches Nationalkomitee

Dipl.-Ing. A. Büchi

Die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur war in der Schweiz die erste Firma, die den Verbrennungsmotorenbau aufnahm, nämlich schon kurz nach 1880. Im Beginn waren es Gas-, Benzin- und sogenannte Petrolmotoren. Damals standen an Kraftmaschinen nur einfache Niederdruck-Dampfmaschinen zur Verfügung mit geringem Wirkungsgrad. Es wurden immer größere Einheiten hergestellt Vor mehr als 20 Jahren ging die Firma auch zum Bau von Dieselmotoren über. Sie baute damals die den Dieselmotoren sehr ähnlichen Lietzenmayer-Motoren. Das Fabrikationsprogramm hat sich entsprechend den Fortschritten geändert und umfaßt heute die modernsten Typen von Verbrennungskraftmaschinen bis zu rd 5000 PS_e Leistung. Auch die Anwendungsgebiete der Verbrennungsmotoren haben sich stark erweitert und die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik liefert heute solche Maschinen sowohl für ortsfeste Anlagen, Schiffe, Lokomotiven und andere Triebfahrzeuge, wie auch für Flugzeuge.

Alle von dieser Firma gebauten Gas- und Dieselmaschinen sind, abgesehen von kleineren, billigen Hilfs-Dieselmotoren, die durch die höchste Brennstoffökonomie sich auszeichnenden, einfachwirkenden Viertaktmotoren. Für Traktions- und Flugzeugmotoren kommt dieser Motortyp infolge seiner besonderen Eignung für sehr hohe Kolbengeschwindigkeiten und Drehzahlen eigentlich allein in Frage.

1. Gasmotoren SLM-Winterthur

Die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik baut solche Motoren hauptsächlich in Stärken von 50 bis 2000 PS_e, die kleineren in horizontaler, die größeren in vertikaler Bauart Getrennte Gas- und Luftleitungen führen zu jedem Einlaßorgan, in welch letzterem erst die Mischung stattfindet. Vor jedem Einlaßorgan befindet sich sowohl in der Gasleitung als auch in der Luftleitung ein Regulierorgan, das vom Regler selbsttätig je nach der Belastung des Motors eingestellt wird. Dadurch ist für jede Belastung das günstigste Mischungsverhältnis erreichbar. Der allgemeine Aufbau der Maschinen entspricht demjenigen

der Dieselmotoren der gleichen Firma. An der Stelle des Einspritzventils wird im Zylinderdeckel eine Zündkerze eingebaut. Die Brennstoffpumpen fallen weg. Statt dessen ist ein Magnetapparat angebracht. Der Zündfunke wird durch einen besonderen Stromverteiler im richtigen Moment in den Zündkerzen der verschiedenen Zylinder erzeugt

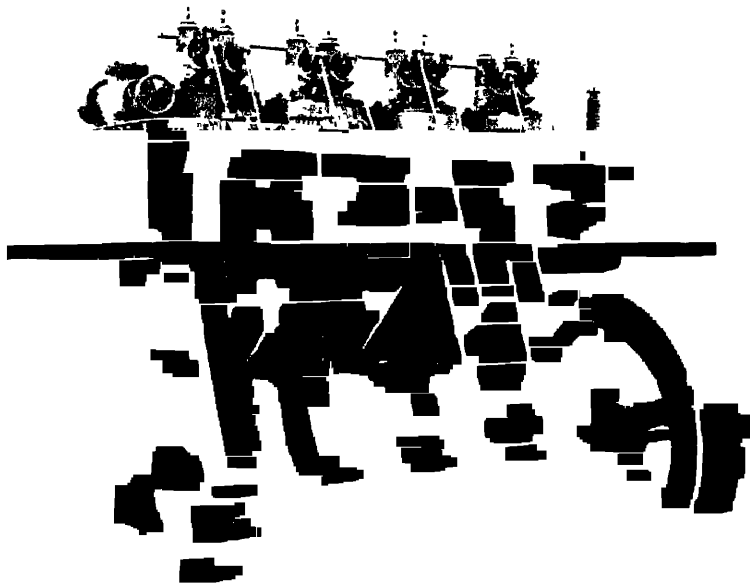



Abb 1. Vertikaler Gasmotor.

Abb. 1 zeigt einen vertikalen Gasmotor SLM-Winterthur von 400 PS. Die vertikalen Gasmotoren großer Leistung werden mit Kreuzkopf und Geradführung gebaut. Große Gasmotoren werden auch mit Abgasturbinenaufladung, System Buchi, geliefert.

2. Kompressorlose Dieselmotoren SLM-Winterthur

Die Firma baut sowohl Dieselmotoren horizontaler Bauart von 15 bis rd 500 PS_e, als auch solche vertikaler Bauart von 10 bis rd. 5000 PS_e Leistung.

Die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik ist eine der ersten Firmen, welche zum Bau von kompressorlosen Dieselmaschinen ubergegangen sind. Sie verfugt deshalb über eine sehr große Erfahrung auf diesem Gebiet. Für die Brennstoffeinspritzung verwendet sie Hochdruckpumpen, bei welchen die Pumpenplunger durch Nocken bewegt werden. Fur Brennstoffpumpen und Brennstoffeinspritzventile hat sie Sonderkonstruktionen entwickelt, welche eine vollkommene Einspritzung und Zerstaubung des Brennstoffes im Zylinder ergeben, und zwar fur leicht- und sehr schwerflüchtige Brennstoffe.

Des ferneren ist der Verbrauch bei den verschiedenen Motorleistungen durch die Kurve B veranschaulicht, wenn der Motor zum Antrieb einer Schiffsschraube dient. Weil sich dann die Drehzahl der Maschine bei kleinerer Leistung erniedrigt, ergibt sich noch eine viel weniger ausgeprägte Veränderung des Brennstoffverbrauchs. Bis zu sehr kleinen Motorleistungen bleibt der Brennstoffverbrauch unverändert. Es kann also die Schiffsgeschwindigkeit in sehr weiten Grenzen verändert werden, ohne den Brennstoffverbrauch per Leistungseinheit bei einer kompressorlosen Schiffs-Dieselmaschine zu ändern.

In Abb. 4 ist vergleichsweise auch noch der Brennstoffverbrauch einer Einblase-Dieselmaschine durch die Kurve C dargestellt. Man ersieht daraus die ausgesprochene Differenz bezüglich des Brennstoffverbrauchs.

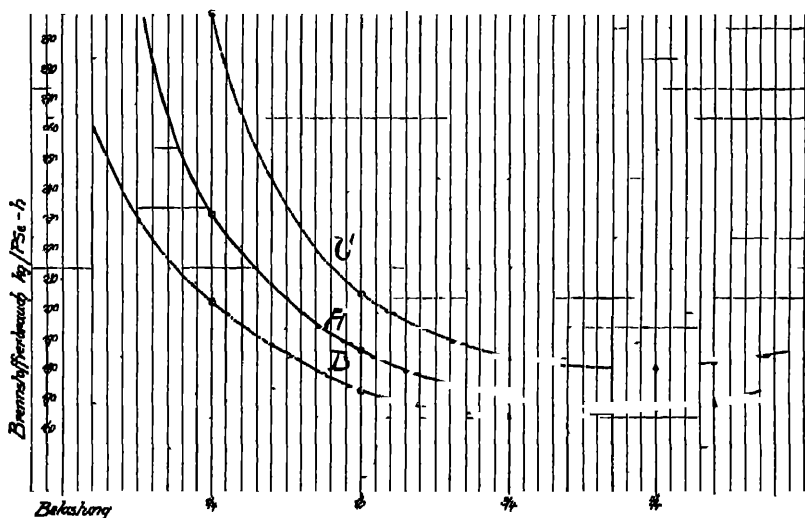



Abb. 4.

A Kompressorloser SLM-Winterthur-4 Takt-Dieselmotor mit mechanischer Brennstoffeinspritzung $n = 300$ U/min.
B Kompressorloser SLM-Winterthur-4 Takt-Dieselmotor mit mechanischer Brennstoffeinspritzung. Drehzahl nach Propellergesetz
C Brennstoffverbrauch einer 4 Takt-Dieselmaschine mit Lufteinblasung

Alle die Vorteile der kompressorlosen Maschinen wirken sich selbstverständlich in den Betriebskosten sehr günstig aus In den Anlagekosten ergibt sich ein Unterschied von ungefähr 15%, in den Brennstoffkosten von 8 bis 10%. Man sieht also, daß der Fortschritt mit den kompressorlosen Motoren sich in wirtschaftlicher Hinsicht durch eine wesentliche Verbilligung der Anlagekosten und der Krafterzeugung, ganz abgesehen von den rein betriebstechnischen Vorteilen, wie einfachere Bedienung usw., auswirkt.

3. Dieselmotoren SLM-Winterthur mit Büchi-Abgasturbinenaufladung

Die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik hat an erster Stelle an der modernsten Entwicklung des Dieselmotors nach meinen

Vorschlagen großen Anteil genommen. Diese Vorschläge beziehen sich, wie bekannt, darauf, die Energie der Auspuffgase zum Antrieb von Turbogeblasen zu benutzen. Mit diesen Turbogeblasen wird die atmosphärische Luft auf eine hohere Spannung gebracht und erst in diesem Zustand in die Verbrennungszylinder eingefuhrt. Durch dieses Verfahren in Verbindung mit einer ganz besonderen Arbeitsweise, welche eine weitgehende Entleerung und mehrmalige Durchspulung der Verbrennungszylinder mit vorverdichteter kalter Ladeluft gestattet, gelingt es, innert der bisher angewandten Prozeßtemperaturen, je nach der Große der verwendeten Maschine bei verhältnismaßig niedrigem Ladedruck von nur rd. 0,25 bis 0,3 atü, eine dauernde Leistungssteigerung von 40 bis 50% zu erzielen.

Die Abgasturbine lauft mit einer fur solche Maschinen gunstigen Drehzahl. Irgendeine Verbindung des Aufladegeblases mit dem Dieselmotor mittels Riemen, Kupplung, Getriebe usw. oder elektrischer Kraftubertragung ist nicht vorhanden Die Maschinenanlage ist „self contained“, denn die Auspuffgase stehen beim Betrieb einer Verbrennungskraftmaschine stets zur Verfugung. Die Abgasturbine dient nur dem Antrieb des Aufladegeblases und die Dieselmaschine allein gibt Kraft nach außen ab.

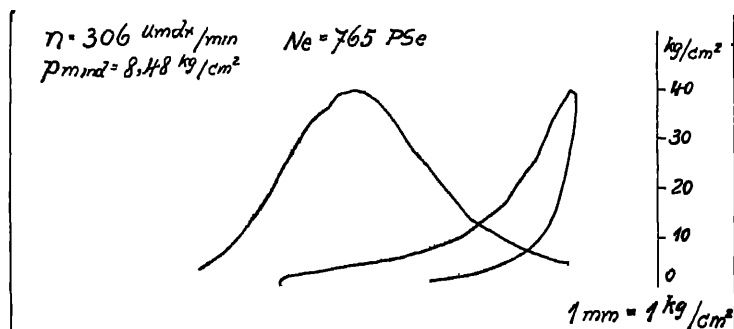



Abb. 5. Indikatordiagramm eines kompressorlosen SLM-Winterthur-Viertakt-Dieselmotors mit Buchi-Abgasturbinen-Aufladung.

Das in die Zylinder eingeführte großere Luftgewicht ermoglicht, eine entsprechend vergroßerte Ölmenge zu verbrennen, dadurch ergeben sich großere Arbeitsdiagramme, d. h. die Leistung der Dieselmaschine wird wesentlich gesteigert. Wird das Verdichtungsverhaltnis in den Verbrennungszylindern etwas ermäßigt, so können bei Dieselmotoren der bisherigen Bauart mit einer Aufladespannung von 0,3 atu die bisherigen Hochstdrucke eingehalten werden, so daß keine hohere Hochstbeanspruchung der Bauteile und der Lager auftritt.

Abb. 5 zeigt ein Diagramm einer SLM-Winterthur-kompressorlosen-Dieselmaschine mit Abgasturbinenaufladung. Es ist eine Sechszylindermaschine von 750 PS_e normaler Dauerleistung bei 300 U/min Man erkennt aus dem Diagramm deutlich, namentlich im Vergleich zu dem Diagramm der gewöhnlichen kompressorlosen Maschine nach Abb. 2,

daß die Breitenentwicklung dieses Diagramms eine viel größere ist. Die Vorgänge während des Auspuff- und Ansaughubes kann man hingegen aus dem Diagramm mit kleinem Federmaßstab nicht deutlich erkennen. Dies deshalb, weil der Abgas- und der Aufladedruck nur rd. $^1/_{130}$ des Höchstdruckes betragen. Der Hochstdruck beträgt 40 at, ist also sogar gegenüber anderen kompressorlosen Maschinen als ein sehr mäßiger zu bezeichnen. Der mittlere indizierte Druck beträgt 8,4 at, was eine indizierte Leistung der ganzen Maschine von 940 PS_i gibt. Die effektive Leistung wurde zu 765 PS_e mit der Bremse festgestellt, so daß sich ein mechanischer Wirkungsgrad von rd. 82% ergibt. Man sieht also, daß die Anwendung der Aufladung auch eine Verbesserung des mechanischen Wirkungsgrades ergibt. Gewöhnliche kompressorlose Maschinen haben im Gegensatz dazu nur einen mechanischen Wirkungsgrad von rd. 78%. Die Verbesserung des mechanischen Wirkungsgrades ist auch ein Beweis, daß die Reibungsarbeit gegenüber einer gewöhnlichen Dieselmaschine gleicher Zylinderabmessungen trotz der verbreiterten Diagramme praktisch nicht wächst. Es darf deshalb aus der gleichen Reibungsarbeit geschlossen werden, daß die Abnutzung bei dieser Maschine, sowohl in den Lagern als auch in den Zylindern nicht größer sein wird, als bei gewöhnlichen Dieselmaschinen, was durch die bisher vorliegenden praktischen Betriebsergebnisse auch bestätigt wird. Steigt nun die Belastung über Normallast, so erhöht sich infolge der Vergrößerung der Abgasmenge auch die Drehzahl der Turbine. Dadurch wird vom Aufladegebläse auch wieder mehr Luft angesaugt und vorverdichtet; es können mit einer solchen Maschine unter Beibehaltung der gleichen Auspufftemperaturen und einer durchaus guten Verbrennung weitaus höhere Überlasten bewältigt werden, als bei den bisherigen Dieselmotoren. Zu diesem Resultat trägt namentlich auch die bei Überlast sich vermehrt einstellende Spülung bei. Die Maschine ist deshalb viel elastischer als die bisherigen Dieselmaschinen, denen bei Überlast eher noch weniger Luft als bei kleineren Belastungen zugeführt wird. Sie kommt betreffend Schmiegsamkeit den bewährten Dampfmaschinen und Dampfturbinen gleich. Dieser große Vorteil ist dem unabhängig vom Dieselmotor durch eine Abgasturbine angetriebenen Aufladegebläse zuzuschreiben. Er macht solche Maschinen namentlich für stationäre Anlagen mit zeitweisem Spitzenlastbetrieb, sowie auch für Lokomotiven und Schiffe, wo die Höchstleistungen stark gesteigert werden sollen, äußerst geeignet. Ein Dieselmotor mit Abgasturbinenaufladung kann während einiger Stunden mit 20% und vorübergehend bis auf 30% über die gewährleistete Dauerleistung bei vollkommen guter Verbrennung belastet werden.

Der verwendete Dieselmotor unterscheidet sich nicht von den bewährten Bauarten der SLM-Winterthur-Dieselmaschinen. Mittlere Einheiten sind mit Tauchkolben, größere Einheiten mit Kreuzkopfführung ausgerüstet. Es sind nur die Luftzuleitungen sowie die Abgasleitungen anders anzuordnen.

Um die Eigenschaften dieser modernsten Dieselmotorart zu beurteilen, muß man die die Anlage- sowie Betriebskosten beeinflussenden Faktoren untersuchen.

A. Vorerst seien die Posten erwähnt, welche die Anlagekosten beeinflussen.

1. *Maschinenabmessungen*: Da der mittlere effektive Kolbendruck für die Dauerleistung bei ungefähr gleicher mittlerer Prozeßtemperatur wie bei gewöhnlichen Viertaktmaschinen, aber viel niedrigerer Temperatur als bei Zweitaktmaschinen, um rd. 40 bis 50% höher ist, so kann das Hubvolumen der Maschine bei gleicher Leistung derselben um den gleichen Betrag kleiner sein als dasjenige einer gewöhnlichen Viertaktmaschine.

a. Behält man den gleichen Kolbenhub und die gleiche Maschinendrehzahl bei, so gilt

$$D_2^2 \cdot 1{,}5 = D_1^2, \quad \text{worin}$$

D_2 = Zylinderdurchmesser eines Viertaktdieselmotors mit Abgasturbinenaufladung,

D_1 = Zylinderdurchmesser eines gewöhnlichen Dieselmotors ist. Es wird dann

$$D_1 = \sqrt{1{,}5}\, D_2 = 1{,}225\, D_2 .$$

Da nun die Maschinenlänge dem Zylinderdurchmesser direkt proportional ist, so ergibt sich die Maschinenlänge bei der aufgeladenen Maschine um 22,5% kürzer als bei einer gewöhnlichen Viertakt-Dieselmaschine. Die erstere hat dann aber ein größeres Verhältnis Kolbenhub zu Durchmesser, was einen besseren, d. h. tieferen Verbrennungsraum ergibt.

b. Behält man das gleiche Verhältnis Kolbenhub zu Zylinderdurchmesser bei und gleichzeitig die gleiche Kolbengeschwindigkeit, wodurch beide Maschinen gleichwertig bleiben, so ergibt sich noch eine stärkere Verkleinerung des Zylinderdurchmessers. Ist z. B.

$$\frac{H_1}{D_1} = \frac{H_2}{D_2} = 1{,}5; \quad \frac{H_2 n_2}{30} = \frac{H_1 n_1}{30},$$

wo H_1 bzw. H_2 die Kolbenhube und n_1 bzw. n_2 die Drehzahlen der beiden erwähnten Motorarten bedeuten, so werden

$$\begin{aligned}
&D_1^2 \cdot H_1 \cdot n_1 = D_2^2 \cdot H_2 \cdot 1{,}5 \cdot n_2 ,\\
&H_1 n_1 = c \cdot 30 , \quad \text{wo } c = \text{Kolbengeschwindigkeit},\\
&H_2 n_2 = c \cdot 30 ,\\
&D_1^2 \quad = D_2^2 \cdot 1{,}5,\\
&D_1 \quad = \sqrt{1{,}5}\, D_2 = 1{,}225\, D_2; \; D_2 = 0{,}815\, D_1 .
\end{aligned}$$

Die Länge der aufgeladenen Maschine wird in diesem Fall auch 81,5% derjenigen einer gewöhnlichen Viertaktmaschine betragen, d. h. die erstere ist, auf ihre Länge bezogen, rd. 22,5% kürzer. Die Maschinenhöhe wird hier ebenfalls kleiner, und zwar, da das Verhältnis Kolbenhub zu Zylinderdurchmesser gleich ist, um den gleichen Betrag wie der Kolbendurchmesser. Es handelt sich also um eine ganz erhebliche Verkleinerung der Maschinenabmessungen. Die Drehzahl der aufgeladenen Maschine ist in diesem Fall allerdings um 22,5% höher. Dies hat aber in vielen Fällen nichts zu bedeuten, im Gegenteil wirkt sich dies bei

Elektro-Generatorantrieb oder Antrieb von Zentrifugalpumpen und anderen Arbeitsmaschinen sehr günstig aus, indem dann diese Maschinen auch kleiner und billiger ausfallen.

2. *Maschinengewichte.* Vergleicht man die Gewichte zweier Kolbenmaschinen von vollkommen symmetrischer Bauart und gleicher Beanspruchung in ihren einzelnen Bauteilen, so gilt, daß sich die Gewichte wie die Hubvolumina verhalten. Beim Vergleich aufgeladener Motoren mit gleichen Hochstdrucken wie bei gewohnlichen Viertakt-Dieselmotoren, ergibt sich deshalb:

$$G_1 : G_2 = D_1^2 H_1 : D_2^2 H_2,$$

wenn G_1 das Gewicht einer gewohnlichen und G_2 dasjenige einer aufgeladenen Maschine bedeuten.

Es wird dann nach S. 243, Fall 1a, wo $H_1 = H_2$

$$G_1 : G_2 = \frac{D_1^2}{D_2^2} = 1{,}5.$$

Der Verbrennungsmotorteil der aufgeladenen Maschine ist deshalb nur 66,7% so schwer, wie derjenige einer gewöhnlichen Viertakt-Dieselmaschine, oder die erstere ist auf ihr Gewicht bezogen 50% leichter.

Nach Fall 1b, wo $\frac{H_1}{D_1} = \frac{H_2}{D_2}$ und in beiden Fallen konstante Kolbengeschwindigkeit angenommen ist, wird

$$G_1 : G_2 = D_1^2 H_1 : D_2^2 H_2,$$

dabei ist

$$D_2 = 0{,}815\, D_1;\quad H_2 = \frac{H_1 D_2}{D_1} = \frac{H_1 \cdot 0{,}815\, D_1}{D_1}$$

$$G_1 : G_2 = \frac{D_1^2 H_1}{0{,}667 \cdot D_1^2 \cdot H_1 \cdot 0{,}815} = \frac{1}{0{,}543} = 1{,}84$$

Die gewohnliche Viertakt-Dieselmaschine ist also 84% schwerer als die Viertaktmaschine mit Buchi-Abgasturbinenaufladung.

Wir haben nun bis jetzt nur die Verbrennungsmotorteile miteinander verglichen. Es ist nun aber noch notwendig, zu untersuchen, ob bei der aufgeladenen Maschine noch irgendwelche Bauteile schwerer werden als bei der gewohnlichen Dieselmaschine oder ob noch Zubehorteile dazukommen. Die Bauart der Verbrennungskraftmaschine ist in beiden Fallen die gleiche, es sind nur Unterschiede vorhanden, die auf das Maschinengewicht keinen Einfluß haben. Es ist aber die Anordnung eines Abgasturbogeblases notwendig und muß dieses durch Leitungen mit der Verbrennungskraftmaschine verbunden sein. Dafür kann bei der aufgeladenen Maschine der Schalldampfer wegfallen, ebenso die bei gewöhnlichen Dieselmotoren oft angewendeten gekuhlten Auspuffleitungen. Da das Drehmoment der aufgeladenen Maschine infolge der breiteren Indikatordiagramme besser ausgeglichen ist, braucht diese Maschine hingegen für den gleichen Ungleichformigkeitsgrad nur ein leichteres Schwungrad bzw. Schwungmoment im gekuppelten Elektrogenerator. Aus ausgeführten Dieselmotoren mit Abgasturbinenaufladung ergibt sich, daß das Mehrgewicht fur das Abgasturbogeblase und

das Mehrgewicht an Rohrleitungen usw. hochstens 5% beträgt. Es stellt sich also das Gewicht einer gewohnlichen Dieselmaschine pro Leistungseinheit im Fall 1a um $\frac{1,5}{1,05} = 1,43$, im Fall 1b um $\frac{1,84}{1,05} = 1,75$ mal so groß wie dasjenige eines Motors mit Abgasturbinenaufladung. Da nach Dr *Frahm* (Dieselmaschinen III VDI) die einfachwirkende Viertakt-Dieselmaschine nur 15% schwerer ist, als die einfachwirkende Zweitakt-Dieselmaschine, so ergibt sich aus dieser Vergleichsrechnung, daß der einfachwirkende Viertaktmotor mit Abgasturbinenaufladung noch wesentlich leichter ist, als der einfachwirkende

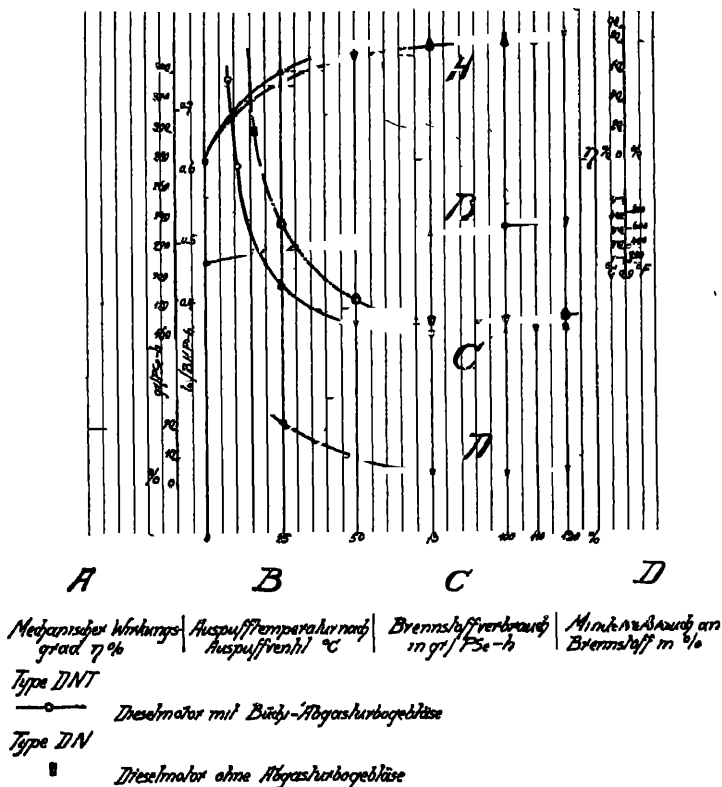



Abb 6. Dieselmotor mit mechan. Brennstoffeinspritzung

Zweitaktmotor. Im Fall 1a ist der Unterschied 17% zugunsten der aufgeladenen Maschine, im Fall 1b noch viel mehr (rd. 35 bis 40%). Da nach der gleichen Quelle, allerdings mit einem etwas forcierten doppeltwirkenden Zweitaktmotor, die Gewichtsersparnis gegenuber einer gewohnlichen einfachwirkenden Zweitaktmaschine 28% betragt (der Verfasser hält rd 20% als richtig), so ergibt sich für die einfachwirkende Viertaktmaschine mit Abgasturbinenaufladung interessanterweise praktisch das gleiche Gewicht wie fur eine doppeltwirkende Zwei-

taktmaschine. Dies gilt unter der Voraussetzung, daß beide Maschinenarten nach gleichen Grundsatzen, Beanspruchungen u. dgl. gebaut sind.

3. *Maschinenpreis.* Der Preis einer Maschine richtet sich praktisch gesprochen ungefahr nach ihrem Gewicht, solange man gleichartige Maschinen miteinander vergleicht. Bei der Maschine mit Abgasturbinenaufladung sind die Abgasturbogeblase ein relativ teures Zubehör. Dafür

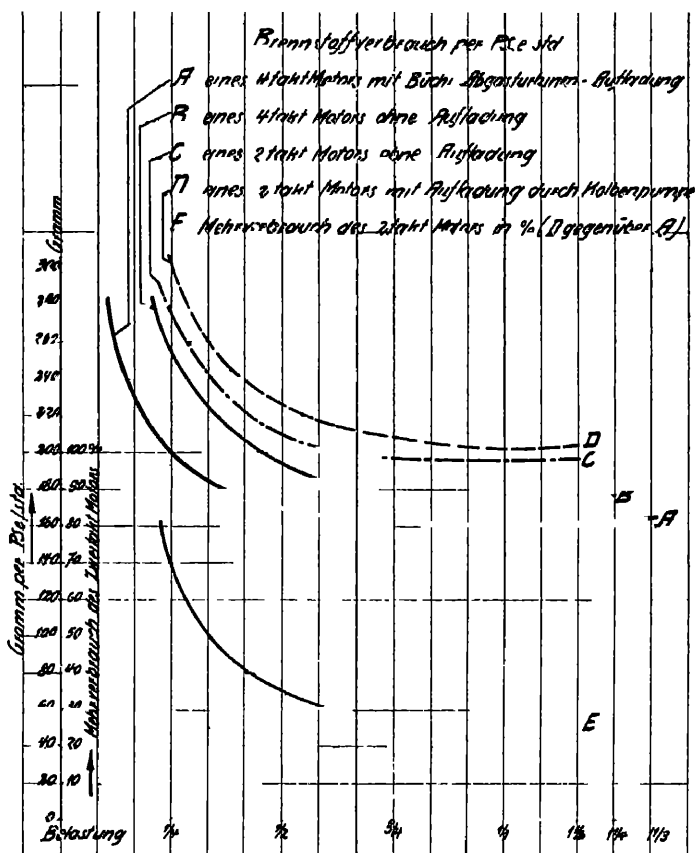



Abb. 7. Brennstoffverbrauch von SLM-Winterthur-Viertakt-Dieselmotoren mit mechan. Einspritzung und Zweitakt-Dieselmotoren mit Drucklufteinspritzung

sind aber die anzubauenden Rohrleitungen verhaltnismaßig billig Der Preis der einfachwirkenden Viertaktmaschine mit Abgasturbinenaufladung ist demnach infolge ihres kleineren Gewichts sicher billiger als derjenige der viel schwereren einfachwirkenden gewohnlichen Vier- und Zweitaktmotoren. Gegenuber der doppeltwirkenden Zweitaktmaschine wird praktisch auch kein wesentlicher Unterschied bestehen Fuhrt man die Auflademaschinen aber auch doppeltwirkend aus, so sind sie sicher billiger als die doppeltwirkenden gewöhnlichen Zweitaktmaschinen.

B. In zweiter Linie seien die Posten erwahnt, die die Betriebskosten beeinflussen.

4. *Brennstoffverbrauch.* Der Brennstoffverbrauch eines Viertakt-Dieselmotors mit Abgasturbinenaufladung ist kleiner als derjenige eines gewohnlichen Viertaktmotors, und zwar bei allen Belastungen. In Abb. 6

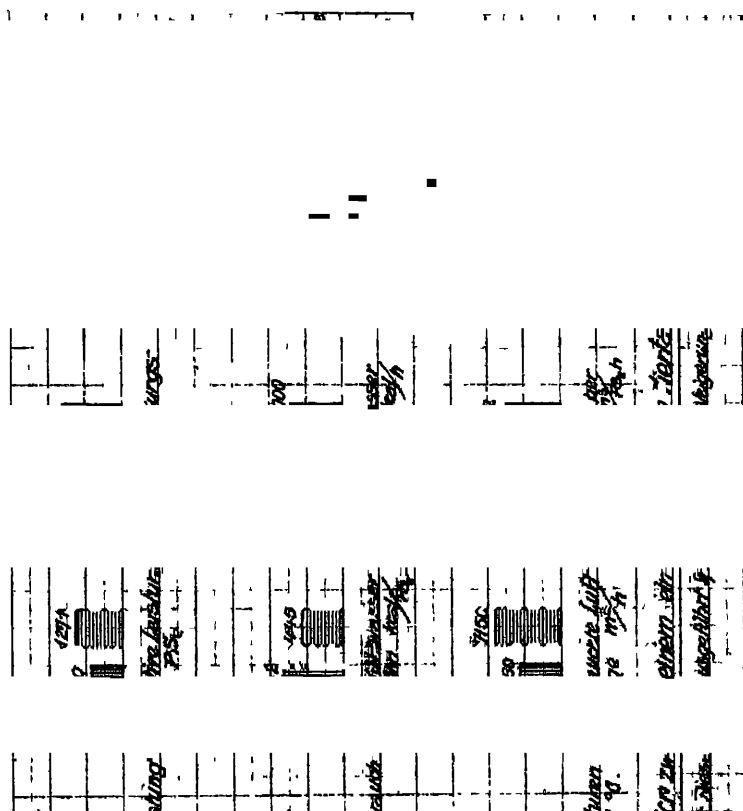



Abb. 8.

zeigt Kurve C unten den Verbrauch per PS_e/h der aufgeladenen Viertaktmaschine und Kurve C oben denjenigen der gewohnlichen Viertaktmaschine. Der Unterschied betragt (s Kurve D) bei Normallast rd. 5%, bei $^1/_2$ Last 10% und bei $^1/_4$ Last 22%. Die Ergebnisse sind an kompressorlosen Dieselmotoren der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik (SLM-Winterthur) festgestellt worden. Bemerkenswert ist

auch, daß der Verbrauch von $^1/_2$ Last bis zur größten Überlast stets unter 170 g/PS$_e$/h bleibt.

Die Kurven A zeigen die respektiven mechanischen Wirkungsgrade. Auf deren Verbesserung bei der Auflademaschine ist namentlich der geringere Brennstoffverbrauch zurückzuführen. Die Kurve B zeigt den Verlauf der Abgastemperaturen nach den Auslaßventilen.

Abgesehen von der Still-Maschine mit Abdampfverwertung hat die Dieselmaschine mit Buchi-Abgasturbinenaufladung den geringsten Brennstoffverbrauch Dies wirkt sich bei Maschinen mit langer Betriebsdauer sehr vorteilhaft aus. —

In Abb. 7 sind außer den Kurven A und B, die Brennstoffverbrauche von kompressorlosen Dieselmotoren „SLM-Winterthur" mit und ohne Auspuffturbinenaufladung darstellend, die Verbrauche von Zweitaktmotoren durch die Kurven C und D dargestellt, ohne und mit Aufladung durch Kolbenpumpen. Die Zweitaktmotoren sind mit Drucklufteinspritzung des Brennstoffes angenommen. Der Unterschied gegenüber der Abgasturbinenaufladung bei der Viertaktmaschine ist hier noch viel ausgesprochener.

5. *Schmierolverbrauch.* Da die zu schmierenden Zylinder- und Lagerflachen kleiner sind und die Reibungsarbeit per Leistungseinheit, ist der Schmierolverbrauch der aufgeladenen Maschine kleiner als der einer gewohnlichen Viertaktmaschine. Für die Schmierung des Abgasturbogeblases, dessen Lager gekühlt sind, entsteht praktisch kein Verbrauch. Dieses Aggregat wird von der Dieselmaschine aus automatisch mit Schmieröl versorgt.

6 *Kuhlwasserverbrauch.* Derselbe wird durch Abb. 8 dargestellt, welche sämtliche Elemente der Warmebilanz enthalt. Für Traktionsmotoren, wie Diesel-Lokomotiven mit Kühlwasserrückkuhlung auf dem Fahrzeug selbst, kann dies von Wichtigkeit sein.

7. *Ersatzteile.* Da die Maschinenabmessungen der Auflademaschinen kleiner sind, ergeben sich auch kleinere Maschinenteile, wie Ventile, Kolbenfedern usw, die evtl ersetzt werden müssen. Dadurch werden die Instandstellungskosten sowie die Handhabung gunstig beeinflußt.

Summary

The advantages of more recent designs of power units, as illustrated by the internal combustion engines made by the Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik of Winterthur, Switzerland, are set forth.

Reference is made in the first place to the vertical gas engine made by this firm as well as to modern Diesel engines with and without exhaust turbine-driven superchargers Next to be considered are the advantages of air-less injection Diesel engines, which are particularly remarkable for their low production costs and for their low consumption of fuel

The characteristic features of Buchi exhaust turbine-driven supercharged Diesel engines are described and a comparison made between them and existing standard types of Diesel engine with regard to their principal dimensions and their weights. The influence of the weight on the cost of the engines in question is also discussed. In addition, information is given on the fuel consumption of these supercharged engines as compared with existing types of Diesel engine and on the other factors influencing the running costs

Österreich

Forschungsinstitut für Dieselmaschinen an der Technischen Hochschule in Graz

Österreichisches Nationalkomitee

Prof. J. Magg

Dank dem besonders weitherzigen Entgegenkommen der österreichischen Bundesministerien für Unterricht und für Handel und Verkehr wurde es dem Unterzeichneten ermöglicht, in dem Neubau des maschinen- und elektrotechnischen Instituts der Technischen Hochschule in Graz ein Forschungsinstitut für Verbrennungskraftmaschinen zu errichten, das im Januar 1930 seinen Betrieb aufzunehmen begonnen hat, und über das im nachfolgenden berichtet werden soll.

Da im Gegensatz zu der heute noch im regsten Entwicklungsstadium befindlichen Hochdruckol- (Diesel-) Maschine die mit gasförmigen oder vergasten Brennstoffen betriebenen Maschinen gegenwärtig wenig neue Probleme bieten, schien es zweckmäßig, das Laboratorium zunächst wesentlich für die Erforschung der zahlreichen wissenschaftlich und wirtschaftlich überaus wichtigen Aufgaben einzurichten, vor die sich die wissenschaftliche Forschung durch die Weiterentwicklung der Dieselmaschine gestellt sieht, und die Errichtung der Gasmaschinenversuchsstelle einem späteren Ausbau zu überlassen.

Selbstverständlich konnte aus der Fülle der Probleme des modernen Dieselmaschinenbaus, von denen ich vor kurzem an anderer Stelle eine gedrängte Übersicht gegeben habe[1], zwar nicht alles, aber immerhin das Wesentlichste dem neuen Laboratorium als Forschungsaufgabe gestellt werden.

Während die Viertaktmaschine in ihrer Bauart als ortsfester Normal- oder Schnelläufer bereits eine Entwicklung durchgemacht hat, die auf Bauformen führte, die — im einzelnen zwar noch verbesserungsfähig — im ganzen doch bereits einen gewissen Standardtyp darstellen, ist dies bei der Zweitaktmaschine noch durchaus nicht der Fall Der Übergang vom Viertakt zum Zweitakt, der überall angestrebt wird, stellt Konstruktion und wissenschaftliche Forschung vor eine Fülle von neuen und teilweise noch recht wenig geklärten Aufgaben, diese betreffen insbesondere die für die Zweitaktmaschine grundlegend wichtige Frage der Spülung

---

[1] „Aufgaben und Ziele des Dieselmaschinenbaus", Festschrift zum 70 Geburtstag von Prof Dr *A Stodola*, S 398ff Orell Füssli, Zürich 1929

Um hierfür weitgehende Untersuchungsmöglichkeiten zu schaffen, wurde in dem Laboratorium eine nach den Entwurfen des Unterzeichneten gebaute Studienmaschine von 320 mm Dmr. bei 500 mm Hub aufgestellt, welche es gestattet mit Hilfe auswechselbarer Spüleinsatze und Laufbüchsen alle derzeit in Gebrauch stehenden sowie etwa auch neu vorzuschlagenden Spularten einer genauen Untersuchung zu unterziehen. Diese Untersuchung muß sich, wenn sie umfassend sein soll, auf verschiedenste Umlaufzahlen beziehen, weshalb die Maschine so eingerichtet ist, daß sie durch Zwischenschaltung eines Wechselgetriebes im Regulatorantrieb gestattet, die Umlaufzahl zwischen 70 und 300 U/min beliebig und stetig zu verandern. Die Spulluft wird von einem elektrisch angetriebenen dreistufigen Turbogeblase geliefert, welches so bemessen ist, daß auch mit sehr hohen Werten von Luftuberschuß und mit Spüldrucken bis 8000 mm W.-S. gespült werden kann. Die Spülluftmengen werden mit Düsen gemessen, die mit Hilfe einer Luftglocke von 35 m³ Inhalt geaicht werden können. Die Maschine wird durch eine Pendeldynamo von maximal 100 kW Dauerleistung belastet, die ihrerseits wieder durch Ward-Léonard-Schaltung mit einem Gleichstrom-Drehstrom-Umformer gekuppelt ist, wodurch es auch moglich ist, die Hauptmaschine mit jeder beliebigen Umlaufzahl elektrisch anzutreiben, um Schluckfahigkeit, Spularbeit, Wirkungsgrad und Erfolgswert der einzelnen Spülbauarten genau zu bestimmen Die Versuchsmaschine besitzt Kolbenkuhlung und ist in allen Abmessungen, insbesondere auch des Triebwerks, so reichlich bemessen, daß daran auch alle Arten von Aufladeverfahren bis zu einem Höchstdruck von 60 kg/cm² im Zylinder studiert werden können. Um die fur die Wirtschaftlichkeit des thermodynamischen Arbeitsvorgangs so uberaus wichtige und noch sehr wenig geklarte Frage des Einflusses der Restgase auf die Güte der Verbrennung zu klären, ist der Auspuff der Maschine durch eine absperrbare Rohrleitung mit der Ansaugeleitung des Geblases verbunden, so daß mit künstlich durch Abgase verunreinigter Spülluft gespult werden kann. Die Maschine ist mit weitgehenden Einrichtungen zum Indizieren, zu Temperaturmessung und mit einruckbaren Gasentnahmeventilen versehen und mit einer Vorrichtung ausgestattet, welche das Einbringen verseuchter Luft ermoglicht, um den Erfolgswert der Spülung durch elektrostatische Messung radioaktiven Edelgasgehalts bestimmen zu konnen, statt, wie ublich, durch die zu Fehlern fuhrende CO_2-Bestimmungsmethode

Zum Zweck der heute theoretisch und praktisch noch recht wenig aufgehellten Frage des Vorkammerverfahrens steht eine Zweitaktmaschine von 40 PS_e zur Verfügung, welche zunachst noch mit Kurbelkastenspulung arbeitet, spaterhin aber an das fruher erwahnte Hauptgeblase angeschlossen werden soll An dieser Maschine sind weitgehende Forschungen uber Form, Inhalt usw. der Vorkammer in Aussicht genommen

Fur Forschungen an der Viertaktmaschine steht ein zweizylindriger Normallaufer mit Druckeinspritzung Bauart Hesselman von 100 PS_e Leistung zur Verfügung, der ebenso wie die erwahnte Vorkammermaschine durch Wasserbremsen belastet werden kann

Für die Untersuchung von Steuerungsantrieben, Brennstoffpumpen usw. ist ein besonderer Versuchsstand vorgesehen; für die Untersuchung des Einspritzvorgangs, des Atmens von Rohrleitungen und Pumpenkörpern und von ähnlichen Vorgängen steht eine mit Druckluft betriebene Hochdruckpreßvorrichtung für Drucke bis 1000 kg/cm² zur Verfügung, welche durch Anschalten einer Hippschen Uhr Zeitmessungen bis auf 0,001 s genau gestattet. Das Indizieren aller Maschinen kann außer nach der gewöhnlichen Methode auch mit Hilfe eines neuartigen, vom Institut selbst entworfenen Punktindikators erfolgen, dessen Konstruktion die bei Instrumenten dieser Art bisher unvermeidlichen Fehlerquellen ausschließt.

Ein besonderes Interesse wendet das Laboratorium der Untersuchung der eben in vielversprechender Entwicklung begriffenen Dieselkraftwagenmaschine zu, zu deren Untersuchung nicht nur alle nötigen Meßgeräte, sondern auch eine große, durch einen Kanal unterteilte Spannplatte vorgesehen ist, die es gestattet, auch andere Maschinen größerer Leistung auf den Versuchsstand zu nehmen

Eine große Druckluftanlage für 100 kg/cm² mit einem elektrisch angetriebenen Dreistufenkompressor ermöglicht es auch, bei allen Maschinen im Bedarfsfall auf Lufteinblasung überzugehen.

Außerdem beabsichtigt das Institut auch weitgehende Versuche mit nach den neuzeitlichen Schweißverfahren hergestellten Dieselmaschinenbauteilen (insbesondere Zylinderköpfen) anzustellen, zu deren Herstellung die nötigen Vorrichtungen vorhanden sind.

Dem Laboratorium angegliedert ist ein chemisches Laboratorium, welches alle im Verbrennungskraftmaschinenbau auftauchenden chemischen Fragen zu bearbeiten gestattet, ein physikalisches Institut mit allen für den Verbrennungskraftmaschinentechniker wichtigen Apparaten sowie eine kleine feinmechanische Werkstatt. Alle größeren für Instandhaltung und Wiederherstellung der Maschinen sowie auch für den Neubau einzelner Teile und evtl. ganzer Maschinen nötigen Arbeiten können in einer mit allen Arbeitsmaschinen ausgestatteten, allen Laboratorien gemeinsamen Zentralwerkstätte geleistet werden, der demnächst auch eine Schmiede und eine eigene kleine Grau- und Gelbgießerei angegliedert werden sollen.

Résumé

Description du nouveau laboratoire pour les moteurs Diesel à l'école polytechnique à Graz (Styrie), de ses machines et appareils Description spéciale d'une machine Diesel à deux temps pour étudier les problèmes du balayage, de l'influence des gaz brûlés sur le rendement économique etc.

Great Britain

Notes on Heavy Oil Engine Research

British National Committee

Alan E. L. Chorlton

This report has been prepared for the British National Committee. It is not to be regarded as constituting a paper, but provides information collected for the purpose of including a complete international survey of the subject in the Transactions of the Second Plenary World Power Conference.

Covering engines in which the fuel is injected into the cylinder and ignited by the heat of compression.

Research into this class of engine continues its progress under the auspices of Universities, colleges and some special research associations who in the main explore and investigate the more theoretical aspect of the subject in:

Combustion processes
Injection of the fuel
Charging of the cylinders
Supercharging and scavenging
Turbulence
Heat flow
Vibration
Mechanical efficiency
Materials of construction { for heat / for structural purposes / for wearing properties }

The latter items appear also in the second division of the subject, the practical or more applied side.

Such researches take place in workshops or works test houses of the manufacturing firms concerned and in some more detached laboratories owned by associations of firms.

Many other of the foregoing items are investigated in a more applied sense also; attention in the works is most frequently concentrated on:

Improvement of materials
Selection of more suitable materials for heat stresses etc.
Workshop processes
Mechanical efficiency as affected by friction etc.
Recovery of waste heat
Damping and balancing devices to control vibration etc.

The experimental work necessary in the development of new types of engines is generally carried out on large scale units in the workshops of manufacturers.

Modern Developments in Design

The general tendency of present day design in the heavy oil engine in Britain is undoubtedly towards:

a. the use of airless injection of the fuel in preference to the original method of Diesel
b. the development of high speed types, the four stroke cycle being preferred
c. With the slow speed engine, the use of double acting increases and the two stroke cycle becomes more favoured
d. Supercharging is increasingly applied coupled with scavenging, the air pumps being sometimes operated from exhaust gas driven turbines and research naturally leans in this direction.

For a and b the origin and experience used for the present results are British and bear but small relation to the work of Diesel It might therefore be useful to remark that the principles which development has followed were enunciated in Akroyd Stuart's patent where he used airless injection of the fuel and a forced turbulence in the charge.

The development of the slow speed engine and the research work coupled with it has taken place outside this country, a notable exception is the Doxford opposed piston engine.

Combustion Processes

Referring to the published results of experimental work we find that progress has continued at the Imperial College of Science with the valuable work by Bone, Newell and Townend on Combustion processes.

They have shown that the increase in density of an explosive mixture accelerates the rate of combustion, gives a relatively smaller heat loss and the effect of dissociation is also relatively reduced.

In connection with this interesting work the ingenious experiments relating to specific heat carried out by Sir Dugald Clerk in 1905 should be remembered.

Interesting and valuable work is being carried out by Fenney in combustion at the National Physical Laboratory.

Injection of the Fuel

Work is being continued in the Cambridge Lab. by A. L. Bird on oil jets and their ignition This work, whilst originally dealing only with jets, as have so many other investigators in others parts of the world, has gradually developed into the more applied side of the subject and hence is very valuable to the practicing engineer. The optimum conditions for the formation of a jet involving the sensitiveness of the automatic injection valve system, the fuel conduits and the viscosity of the fuel etc. have been arrived at.

His study of the ignition process in a closed vessel is promising. He finds that if the turbulence of the charge is too severe, there is a tendency for the flame to be extinguished. More work is required in this respect for the speeds used in practice vary so greatly, from the revolving ones used in, say, a two cycle cylinder to the high speeds set up by an Akroyd Stuart throat, much above that which put out the flame in Bird's experiments.

He is also carrying out experiments in the spraying of the oil into the mixture at the intake of a gas engine and this work undertaken successfully bears a relation to that carried out at Manchester Univ. Laboratory by Mucklow where the two fuels are hydrogen and fuel oil (a combination most suitable for airship work). This work has some conditions similar to those in the type of engine where the spray is injected into the cylinder but the compression is relatively low and the ignition is electrical and not gaseous.

There may be a useful comparison also with the earlier oil engines developed in Lincolnshire which always used a comparatively high degree of turbulence, low compression and direct injection.

Research which afforded more accurate relations between engines of these types would be valuable.

Supercharging

In the charging of the cylinder research work is limited judging by the published results; most of this work and its relation to volumetric efficiency has been confined in the past to comparatively small engines operating on the constant volume cycle i e. on engines drawing in an explosive mixture

Some experimental work on supercharging has, however, been carried out on the heavy oil engine as defined earlier. At the Admiralty Laboratory at West Drayton experiments have been made using boost pressures of the order of 3,93 lbs/sq.inch which gave a mean indicated pressure of 185 lbs/sq.inch and an exhaust temperature of 1065° F. These results are recorded in a recent paper by Engineer Captain Turner before the Institution of Naval Architects. Further experiments are in progress but the results of them have not yet been made public.

Scavenging

In the two stroke cycle engine experiments have continued in the arrangement and shape of induction and exhaust ports etc. to improve the final air content of the cylinder both for single and double acting types but the excessive cutting away of the cylinder wall due to this remains and, it would seem, is a serious disadvantage on the score of increased wear from the piston rings.

Practical investigations have also been conducted on the scavenging of four stroke cycle engines by the introduction of fresh air (by induction or by blowing) into the cylinder combustion space when the piston is at the end of the exhaust stroke, the inlet and exhaust valves being kept

open together for a period equivalent to 100 degrees or more of crank movement.

For early research see also Sir Dugald Clerk's work and many practical examples in engine design by Mr. Hamilton built by the Premier Engine Co. 25 years ago.

This revival of scavenging is most interesting. Messrs. Beardmore have done some work in the development of a centrifugal scavenging and supercharging blower, gear driven from the crankshaft, the application is for a high speed oil engine for locomotive service.

Some exhaust turbine driven work has been done in the Royal Aircraft Establishment, but we must rely at the present in the main on work done by Büchi in Switzerland.

Turbulence

The amount of research work done in connection with the oil engine has been limited, it being almost confined to small quick running motor car type engines, where present conditions seem to point to a limitation of the rates previously arrived at.

Mr. Bird, however, has done a certain amount at Cambridge and no doubt he will continue and be able to set values to and coordinate present practice, for instance, the revolving speeds in the cylinder given by Mr. Keller in his paper as compared with those through the throat of two cell type engines and the explanation. In Alexander's experiments the speeds of the air were also relatively low, being no greater than that through the inlet valve.

Heat Flow

Actual research on this subject in this country has been more concentrated on small engines in which, though, the effect of thermal stresses on such thin structure is relatively unimportant.

In large engines attention has been concentrated on the improvement of the design of the cylinder covers, cylinder liners and pistons, with a view to reduction of wall thickness, and more efficient cooling. The changes in the form of design of cylinder liners are leading to the employment of reinforcement, as in the Scott Still engine. In connection with the dissipation of heat through the surfaçes in contact with the hot gases, a large amount of metallurgical work has been done and a high technique in foundry practice has been achieved.

Vibration

Vibration in the form of critical torsional oscillation tending to fracture of crankshafts has occasioned a good deal of trouble and some valuable work has been done by B. C Carter at the Royal Aircraft Establishment for Airship engines. On larger quick running engines at Beardmore's, Glasgow, see Chorlton's paper before the British Association in Glasgow last year, in which work is recounted using two torsiographs one at each end of a long shaft variously loaded.

In slower speed types many investigations have been carried out Prof. *W. Kerr*'s paper deals both with balancing and vibrations and is valuable for it is based on his extensive practical experience.

Damping devices for the absorption of criticals are now emerging for cases where a major one cannot by design be kept out of the speed range, and for 4 cylinder engines secondary balancing systems have sometimes been introduced, in the larger types such as the Doxford, a special arrangement of cranks and lengths of strokes has been evolved.

Mechanical Efficiency

On the whole comparatively little work is going on to improve the mechanical efficiency.

The main frictional loss in the high compression engine is due to the piston rings, and investigations with a view to its reduction have been pursued at the Admiralty Laboratory.

At the National Physical Laboratory Sir *T. Stanton* has also carried on research and Prof. *Gibson* at Manchester Univ.

It is now frequently held that a large area of contact between ring and cylinder wall is not so essential to secure satisfactory heat transference.

The effect of leakage of gases behind the rings in increasing the contact pressure is well known and means have been devised in the design of the rings and are being tried out to reduce as much as possible this leakage.

Materials of Construction

Considerable research has taken place in Cast Iron, Chromium and Nickel now being used in mixtures of high tensile strength Aluminium in a chill cast or in the form of forgings is used for pistons up to 20 inches diameter, obviating the need for water or oil cooling, but no new mixtures of a higher value than Y metal seem to have emerged

Research continues at the National Physical Laboratory

In *structural work* complete cast steel cases are used for smaller engines; in the larger types built up construction with tension rods to take the combustion load but no special work is going on in this line. Developments, however, in the use of built up welded cases are preceding.

In *wearing properties* the advent of nitrided steel, for parts liable to wear such as crankshafts and liners, with its hard surface, about 1000 Brinell, has been an invaluable boon to the high speed type at once overcoming much of the criticism levelled against it.

It is interesting to note that in the new airship R. 101 the power units, which are fully equal to land or marine duties, and which were steel cased, weighed the incredibly small amount of 7 lb per B.H P.

In *the applied side* published work, as the bibliography attached will indicate, relates to some particular engine and these do not come closely under considerations of research

Waste Heat Recovery

Experimental work on the utilization of the heat of the gases has been carried out at East London College. Some highly efficient types of steam generator have been evolved (*Clarkson*).

Considerable attention has been devoted by the Still Engine Co. to the development of a locomotive embodying the Still principle and this has met with considerable success in operation, see paper of *E Kitson Clark.* Mention may be made here of the successful application of evaporative cooling notably in connection with the engines of the air ship R. 101.

Conclusion

A survey of the recent progress in oil engine practice would be incomplete without reference to the work carried out under the direction of the Marine Oil Engine Trials Committee of the Insts. of Mechanical Engineers and Naval Architects The trials did not constitute research in the generally accepted sense of the term, but were concerned with the performance of complete installations, both ashore and afloat.

The tests ashore included exhaustive experiments at various loads and speeds to determine a field or chart of fuel consumption, and mechanical efficiencies for each engine.

The trials at sea were confined to the determination of transmitted and thrust horse power and the ability and speed with which the vessels could be manœuvred.

The reports form a classical series in the proceedings of the Inst. of Mech. Engineers.

Bibliography

Papers before the Institution of Mechanical Engineers.

First Report of the Marine Oil Engine Trials Committee· Trials of the T. S. M. V. Sycamore (Tosi Engine) (with an appendix on a distant indicating Torsionmeter, by *E B Moullin*); 1924, p 863.

Temperature Distribution and the Thermal Stresses in a Diesel Engine Liner by *H F. G. Letson,* with an appendix by *E H Lamb*, 1925, p. 19.

Second Report of the Marine Oil Engine Trials Committee: Trials of the T. S M. V. Dolius (Still engine), 1925, p. 439

Tests on a Two Stroke Cycle Oil Engine, by *E. A Allcutt*; 1925, p 849.

Third Report of the Marine Oil Engine Trials Committee Trials of the M. V. Pacific Trader (Doxford engine); 1926, p 99.

Piston Temperatures and Heat Flow in High Speed Petrol Engines; by *A H Gibson*, 1926, p 221.

High Efficiency Oil Engine, by *A E L Chorlton*, 1926, p. 369

Fourth Report of the Marine Oil Engine Trials Committee: Trials of the M. V. British Aviator (Cammellaird-Fullagar Engine), 1926, p 523

Experiments on Oil Jets and their Ignition, by *A L Bird*, 1926, p 955

Fifth Report of the Marine Oil Engine Trials Committee Trials of the T. S M. V Cape York (Werkspoor Engine); 1926, p 1059

Internal Combustion Locomotive, by *E Kitson Clark*; 1927, p 333.

Further Tests on a Two Stroke Cycle Oil Engine, by *E A Allcut*, 1927, p 519.

Ignition of Oil Jets (abridged) by *A L Bird*, 1927, p 1025

Marine Oil Engine, Thomas Lowe Gray Lecture, by *C J. Hawkes*, 1928, p. 3.
Cylinder Temperatures in a 25 HP Crude Oil Engine, and their Effect on Engine Performance, by *F. R B. Watson*, 1928, p 935
The Thermal Conductivities of Grey Cast Irons, by *J W. Donaldson*, D Sc : 1928, p. 593

Papers before the Institute of Marine Engineers

The Diesel Engine for Passenger Vessels and Fast Cargo Lines, by *J. Calderwood*
The Opposed Piston Oil Engine, by *J. Harbottle*
The Origin and Development of Heavy Oil Engine, by *A. F. Evans*
Notes on the Running of Oil Engines and Description of the Powbal Fuel Measurer, by *E. Wood.*
Some Types of Marine Internal Combustion Engines, by *W. F. Rabbidge.*
Recovery and Utilization of Heat from the Exhaust Gases of Internal Combustion Marine Engines, by *T. Clarkson.*
Practical Notes on Maintenance and Adjustment of the Fuel and Blast Air Supply to Large Diesel Engines, by *S. Ashworth*, Vol. 39, 1927/28, pp. 311—32.
Airless Injection and Combustion of Fuel in High Compression Heavy Oil Engine, by *D. H. Alexander* (Investigations at Cambridge Univ.) Vol. 39, pp. 366—414.
Double Acting Oil Engines, by *W. S. Burn* Vol. 38, pp. 281—325.

Papers before the Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland.

Energy Charts for the Calculation of Standard Efficiencies of Internal Combustion Engines, by Prof. *W J. Goudie.*
The Balance of Internal Combustion Engines, by Prof. *W. Kerr.*
Marine Oil Engines, by *D M. Shannon.*
The Application of the Double Acting Diesel Engine to Ship Propulsion, by *R. Love.*
Light Internal Combustion Engines, by *W. P. Kirkwood.*

Papers before the Institution of Naval Architects.

A note on Experimental Diesel Engines, by Engr. Capt. *A. Turner*, R. N.
A Characteristic Energy Diagram for an Oil Engine and the Marine Oil Engine Trials, by Prof. *W E. Dalby.*

Papers before the Diesel Engine Users Association.

Repairs to Diesel Engine Parts by Electro Deposition, by *C. H. Faris.*
Some Notes on High Speed Oil Engines, by *H. O Farmer.*
Marine Oil Engines, by *S. B Freeman*
High Revolution Oil Engines, by *P. A. Holliday.*
Further Developments in Mechanical Injection Oil Engines, by *O. Wans.*
Consumer's Oil Tests, by *A F Evans.*
Some Fuel Experiments in a Mechanical Injection Oil Engine, by *E L. Bass.*
The Repair of a Diesel Engine Crankshaft by Welding, by *A. F. McAskill.*
Centrifugal Castings for Diesel Engines, by *J E Hurst.*

Papers before the North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders.

Combustion and its Difficulties in Marine Oil Engines, by *K. O. Keller.*
Diesel Engine Drive for Generators and Other Marine Auxiliary Machinery on Board Ship, by *J. Calderwood*
Cast Iron for Diesel Engines, by *A Campion*
High Powered Oil Engines, by *W. S. Burn.*

Papers before the Royal Aeronautical Society.

High Speed Compression Ignition Engine Research, by *H. B. Taylor.*

The Effect of Reduced Intake Air Pressure and of Hydrogen on the Performance of a Solid Injection Oil Engine, by *G. F. Mucklow.* (Research at the Univ. of Manchester)

B. C. Carter's Paper. Royal Aircraft Establishment

Papers before the Institute of British Foundrymen.

The Production of Diesel Engine Castings in Pearlitic Iron, by *A. J. Richman.*

Nickel in Cast Iron, by *A. B. Everest.*

The Future of Alloy Cast Iron, Ibid.

Heat Resisting Steels — Mechanical Properties, by *W. H. Hatfield*

Great Britain

Some Characteristics of Nozzles and Sprays for Oil Engines

British Marine Oil Engine Association

A. L. Bird

The injection of oil into the combustion chambers of engines appears to be one of those cases, quite frequent in the history of engineering, in which practice is in advance of theory. of the factors influencing the process, though many are still obscure, some few are now becoming known. In the literature on the subject there have been, for instance, several estimates made by various methods, of the size and penetration of the oil drops; frequent reference is made to the effect of the length of the nozzle in relation to its diameter, while the desirable form and degree of turbulence of the air, whether orderly or chaotic, appears to be still debatable.

While perhaps it is too much to hope that an extension of laboratory experiments may lead at once to improvements in engines, at least explanations of various phenomena may be afforded. With this end in view experiments of this nature have been proceeding at the Engineering Laboratory in the University of Cambridge; the technique of such work requires some development and the Author welcomes this opportunity of acknowledging his indebtedness to the assistance and perseverance of a group of research students, notably Flt. Lt. *F. A. Norton*, R.A.F, and Messrs *A. Sabri* and *M. J. C. Lazier*.

In reviewing the problems likely to be met with, it at once becomes apparent that irregularities are to be expected since, curiously enough, both the flow of oil through the fine orifices used, and also the subsequent passage of the oil drops through hot compressed air occur in a region in which the motion falls between the strictly turbulent and the viscous stream-line type as determined by the *Reynold*'s criterion[1], thus comparatively small modifications in dimensions or velocities are liable to involve changes in the laws governing the action.

Experiments were originally initiated on the flow of oil through nozzles fitted to an injection valve fed from a reservoir under pressure,

[1] i. e. $\frac{V d \varrho}{\mu}$ where V is velocity, d a linear dimension (dia.), ϱ density and μ viscosity. The viscosity of the oils used varied somewhat but typical figures for $\frac{\mu}{\varrho}$ the kinematic viscosity may be taken as·

15° C 0,0008 ft²/sec. or 0,28 C.G.S
30° 0,00012 ,, ,, 0,11 ,,
40° 0,0001 ,, ,, 0,093 ,,
$sp \cdot gr =$,, 0,89.

and giving an intermittent flow as in an engine; later, a six-throw plunger pump specially designed for the purpose, and giving a steady flow becoming available, a wider range of conditions was covered by the continuous flow method and a number of points which had previously been missed came to light. It remained to determine whether these features could be repeated in intermittent flow.

A series of continuous flow tests were carried out on a set of orifices 0.013" dia. (0,33 mm) with a ratio of length to diameter varying from

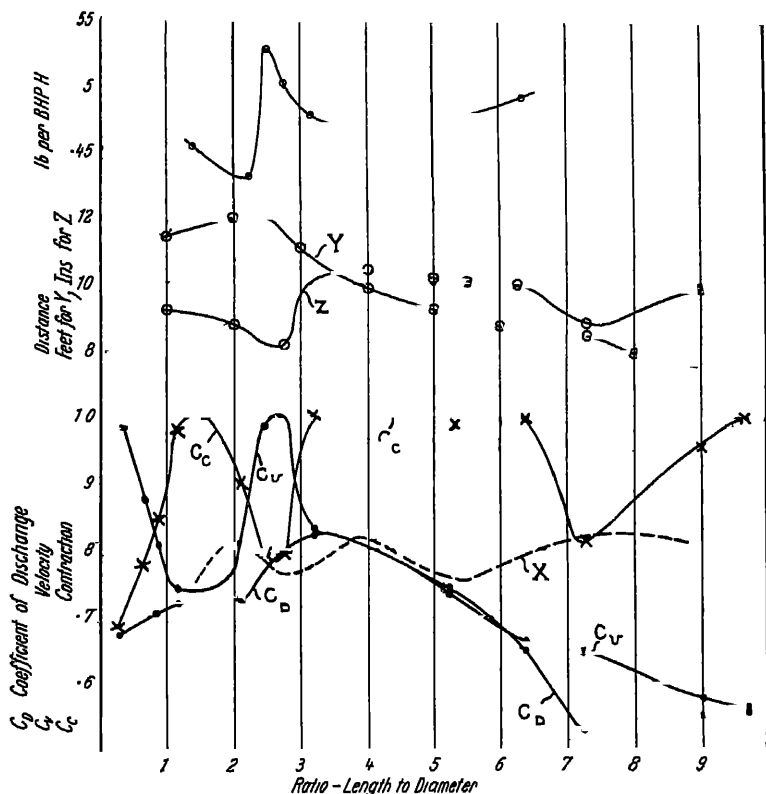



Fig. 1.

0.4 to 10, the approach being by a 3 mm drilled hole, and these have revealed some interesting hydraulic phenomena on a small scale, though doubtless previously known, at least in part, on a large scale.

For values of the ratio below 1 which are of course of little interest for engine work, the discharge will approximate to that of a thin plate orifice with a high velocity coefficient, a large contraction, and a discharge coefficient of the order of 0 65, but when the opening becomes more nearly of pipe form, the pipe will run full and any deficiency in discharge from the theoretical value will be due to a low velocity

coefficient; intermediately there is usually assumed to be an unstable region.

Tests on these nozzles, up to pressures of 5000 lbs/sq.in. (350 kg/cm²) for discharge and velocity[2] coefficients showed irregularities in both at ratios between 2 and 3 and also between 7 and 8: elsewhere they appeared to be normal, the effect of pipe friction, as the ratio increased, reducing the discharge gradually These irregularities were so persistent that they cannot be described as instabilities: as a check the longest nozzle was successively reduced in numerous steps and produced the same result given in Fig. 1 (in the form of coefficients, for a pressure of 3000 lbs/sq.in. (210 kg/cm²). It will be seen that the discharge coefficient curve has two minima at ratios 2 and 7.5 and the velocity curve two marked maxima at practically the same points; except at these points, the derived coefficient of contraction curve has the value of unity, apart from variations incorporating the experimental errors of the other two As a further check, forty-times full size models of the set of nozzles were made and tested using water as the medium. the corresponding pressure for similar flow, according to the *Reynold's* criterion, would be very low, but tests were made up to 15 lbs/sq.in (1.05 kg/cm²). Up to 6 lbs sq.in. (0.4 kg/cm²) the same phenomenon appeared (indicated at X on Fig. 1), but was scarcely noticeable above that pressure which corresponds to a *Reynold's* number of about 130000. Other checks using water were made ranging in pressure from a head of a few cms up to 300 lbs/sq.in. (21 kg/cm²) and in pipe size from a few mm up to 4 cms. In all cases the irregularities appeared so long as the *Reynold's* number was below the figure named, and disappeared above it There was a tendency for the two irregularity regions to approach one another at high values, noticeable in X, Fig. 1, but whether under certain conditions they could ever coalesce remains to be determined.

From the engine nozzle point of view, the steepness of the velocity curve at the first region is significant as it is just at that range of values which is common practice.

Curves of similar shape at pressures from 1000 to 5000 lbs/sq in. (350 kg/cm²) were obtained.

Effects external to the nozzle were estimated by collecting the discharge in numerous small vessels suitably placed, and using the C.G. of the deposited drops as a criterion of penetration: such a curve is given at Y, Fig 1, together with a further curve Z indicating the lateral spread at the C G., taking the distance apart of the C.G^s^. of each half of the jet (i. e. on either side of the centre line) in that region, as a measure. In both cases changes are noticeable at the ratios already mentioned

Considering other characteristics of the nozzles, firstly in regions on either side of the main disturbance, the effect of varying pressure on these and numerous other nozzles yielded interesting results. The usual logarithmic plotting showed that in an assumed law $p \propto v^n$ (p, the pressure here being taken as a measure of R the resistance to flow)

---

[2] Discharges obtained by direct measurement, velocities deduced from impact on a suspended plate, coefficient of contraction followed from these two

the index n changed with pressure, e.g. in the region of 1000 lbs/sq in. (70 kg/cm²) it was about 1.2, indicating an approach to viscous stream line motion, while at 5000 lbs/sq.in. (350 kg/cm²) the value of 2 was approached: intermediately however values between 2 and 3 were found. Such a result has also been met with in larger scale work, and according to theory[3] should have the somewhat paradoxical effect of causing a reduction of discharge with diminishing viscosity, i. e. increasing temperature in the case of oil. This effect had previously been noticed in tests at varying temperatures, e. g. nozzles of 0.013" diameter (0.33 mm) at 1000 lbs/sq in. (70 kg/cm²) had shown a maximum discharge and velocity at 25° C, while at 5000 lbs/sq in. (350 kg/cm²) there was a continuous decrease with temperature.

The key to the situation is of course the *Reynold's* criterion: all these apparently anomalous discharges or velocities, when plotted

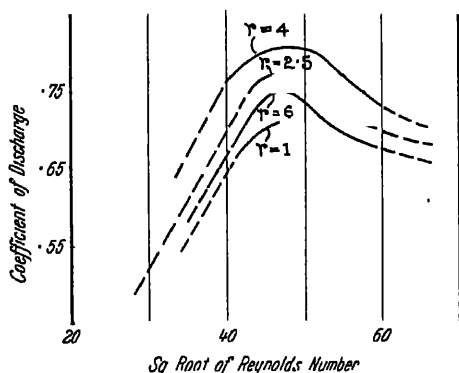



Fig 2.

against their corresponding number (or some function of it) appear on a continuous curve Such a set of curves is given in Fig. 2 in the form of coefficient of discharge against the square root of the *Reynold's* number: it can be shown that a straight line through the origin then represents the results for stream-line motion and a horizontal line those for turbulent motion. In the intermediate region, i. e. that covered by these experiments it was found that various maxima occurred, each appropriate to a certain length ratio, as shown in full line curves Fig. 2, before converging to a coefficient of the order of 0 65 (not reached over the range tested) for $r = 1$, 4, and 6.

Turning now to the length ratio corresponding to the main disturbance, i. e. $r = 2\,5$ approx., logarithmic plotting of pressure agaınt velocity in this case indicated a steady value of the index n of about 2: correspondingly the points when plotted on this curve gave a horizontal line as shown. It will be understood that the rising coefficient to the left of each maximum will cause an increase of discharge with temper-

[3] i. e in the equation $R \propto V^a d^b \left(\frac{\mu}{\varrho}\right)^c$; dimensional considerations require that $a + c = 2$ and $a = b$, hence if $a > 2$, c becomes negative

ature, and to the right a decrease as the coefficient falls again. Superimposed on these disturbances due to length and the sensitiveness to small changes in the *Reynold's* number, there is in practice the effect of intermittent flow to be considered. Experiments of the latter type, in which individual injections were weighed and velocities obtained by means of a ballistic pendulum, had pre-dated the continuous flow tests, but no systematic investigation into the effect of shape had been carried out, although in addition to drilled orifices, a type formed by slits of various shapes in thin sheet metal held between two faces was tried. Dimensions as small as 0.1 mm could be used in this latter type and such nozzles showed characteristics closely approaching stream line flow. However in the results from these widely varying forms, no hint of a decrease of discharge with increasing temperature had been found: in all the tests made there was an increase, sometimes considerable. Reviewing the figures however showed that the *Reynold's* number had never been very high, on account of either moderate pressure (e. g. 2000 lbs/sq.in) or in some cases a throttling at the valve where rapid timing had been tried with inadequate arrangements for rapid opening. Re-tested at 4000 lbs/sq.in. (270 kg/cm²) with a timing of $^1/_{25}$ sec, nozzles of 0.013″ diameter (0,33 mm) showed no increase of discharge between 15° and 50° C, and a slight decrease at 0.015″ diameter (0.38 mm). Hence it does not appear necessary to suppose that an essential difference in type exists between continuous and intermittent flow, except that any throttling at the valve will cause an apparent reduction in the *Reynold's* number.

In the now widely used form of injection in which the pressure is generated momentarily as required, in conjunction with an automatic loaded valve at the nozzle, still further factors are involved, i. e. the elasticity of both the pipe-work and the oil itself, and also the movement of the valve Some experiments[4] by one of the Author's pupils showed that in a typical system the compressibility of the oil and the elasticity of the pipe-work contributed in about equal proportions to an effect capable of controlling the injection independently both of the pump and the loading of the automatic valve. With the usual differential type of valve, the injection process was found to depend on a number of factors, i. e.:

a. Opening occurred in accordance with the loading

b. Time of opening depended on the time taken to build up the pressure in the system, dependent on its elasticity and possible leakages e g. through the governing valve: the pump stroke may start at 30° before D.C., but the valve only open at 6° before D C , even under full load conditions.

c Once open, an enlarged area is acted upon by the oil, and the injection pressure was dependent on the quantity and rate of oil supply from the pump together with the nozzle characteristics, e. g the pressure might rise or fall

d. Closing occurred only when the system had exhausted itself through

[4] See Trans Mar Engineers 1927, p 366 *D H Alexander*

the nozzle to a pressure much lower than the opening pressure, and might be delayed long after the pump stroke had ceased. From a normal closing of 15° after D.C, a change in nozzle form or area may cause a delay to 30° or more: such a delayed closing will of course involve a lower efficiency of combustion.

In view of all these factors it seemed probable that the characteristics of nozzles as determined by simple continuous flow might be obscured in practice, but trials on an engine (of 25 cms bore, 28 atms. compression) with such an injection system showed actually a striking reflection of these characteristics as given at top of Fig. 1. A fan shaped spray from four orifices 0.013″ diameter (0.33 mm) was adopted, though not necessarily the best form for the engine used, so that the consumption results, are only comparative: the resulting injection pressure was about 1900 lbs sq in (135 kg/cm^2) The actual causes of these fluctuations require further investigation, though the bad result at $r = 2.5$ seems likely to be due to the high jet velocity causing impingement on some part of the combustion chamber walls.

Vessel Experiments

Injection into closed vessels has frequently been tried for the purpose of investigating the further history of the jet after leaving the nozzle: sometimes windows have been used for observation of the effects. Usually however, there has been some feature lacking which has depreciated the value of the results: either no attempt has been made to obtain ignition or vice-versa, if ignition were allowed no windows were provided; or again the air contents of the vessel may have been out of proportion to the oil injection. Much criticism has also been levelled at such experiments on account of the absence of a moving piston

The Author has previously described[5] some oil jet ignition observations through windows to which the two latter objections applied, but later a vessel in which engine conditions could be more closely approached has since been constructed

The apparatus is shown in Fig. 3. A thick steel cylinder 8 cm in bore is provided with a glass window 12 5 cm in length and 3 cm in width, situated near the cover end, in which is fitted an injection valve, partially water jacketted and capable of being actuated for a single injection in a manner comparable with that on an engine A piston is provided which may be driven by an external spring, or may be fixed in various positions: alternatively the piston may be replaced by a fan (indicated in dotted line) of special design to avoid interfering with the injection Observations were taken on a rotating plate camera as indicated, the only illumination being from the burning oil itself: in addition sparks at X are registered on the plate originating from an internal contact in the injection valve indicating its period of opening. Diagrams on a time base from a pencil indicator were also taken, including records of pressure and by means of additional pencils, also movements of the piston and valve rocker shaft.

[5] Vid Proceedings Institution Mechanical Eng, Nov 1926 and Dec 1927

Temperatures up to 500 ° C were attained by means of a gas furnace, with air pressures up to about 400 lbs/sq.in. (28.1 kg/cm²) and oil pressure up to 3500 lbs/sq.in (245 kg/cm²) from an accumulator.

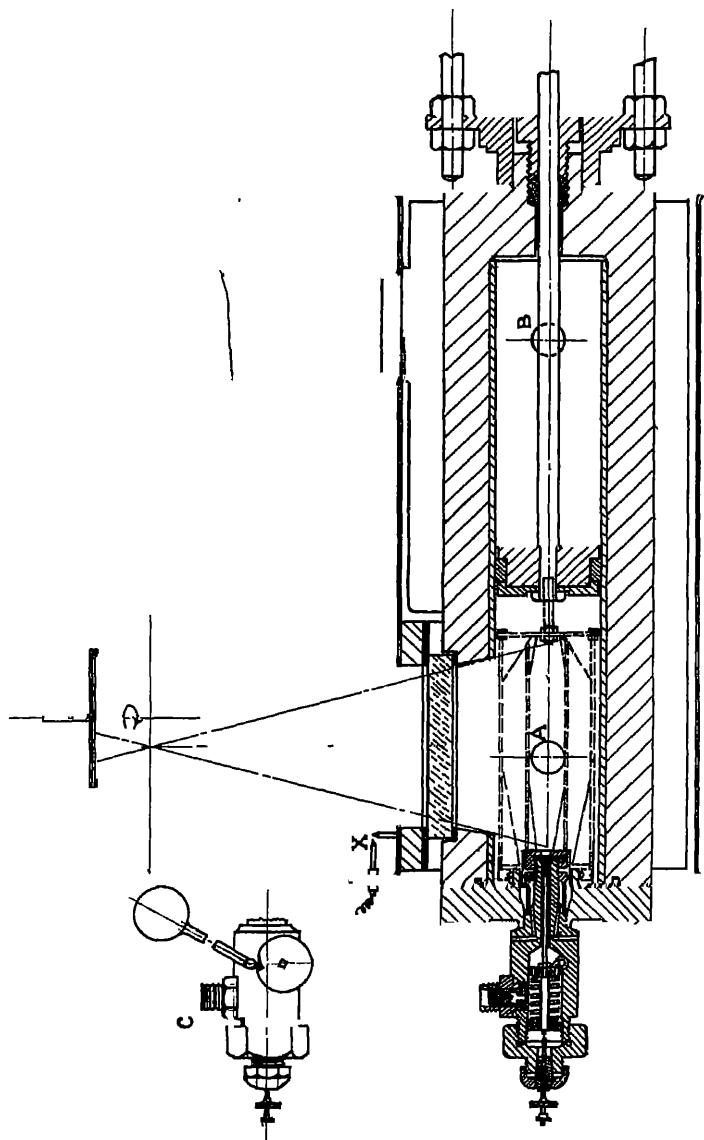



Fig 3.

The nozzle mostly used was 0 015" diameter (0 38 mm) by 0 024" long (0.6 mm), in conjunction with a valve lift of 0 028" (0 7 mm) and a timing of 0 03 sec The valve was actuated by a falling bob weight

on a rotating arm, as seen in Fig. 3: this was tripped by the piston rod itself in the moving piston tests.

An example of the type of result obtained with the piston moving is given in Fig. 4 in which the sparks indicating the valve opening period are also seen: the data which can be obtained from such a record (by means of radial lines) are (a) time of burning, (b) time lag from injection to ignition, (c) place of origin of ignition, (d) rate of spread and retreat of flame. Much work has been done in correlating such results with those of the older vessel on the one hand and engine conditions on the other. By fixing the piston in various positions, varying degrees of excess air coefficient (from 13 to 2) could be obtained, and it was found that as this value was reduced, certain anomalous previous results became more in accord with results from engines; for instance the time lag

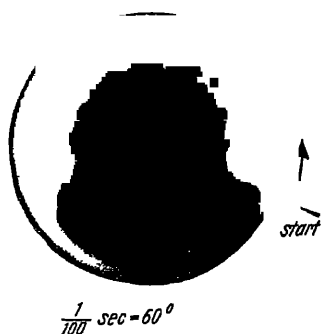



Fig 4

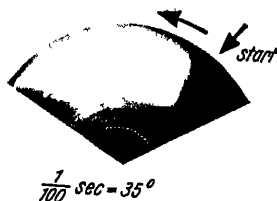



Fig 5

between injection and ignition had caused misgivings owing to its high value as compared with engine conditions, in spite of repeated measurements by different means, i. e. (a) mechanically by records of valve movement and pressure rise on the rotating drum indicator, (b) electrically by the sparking arrangements described. As the excess air was reduced in successive steps, at first no marked change was observed, but at values of the coefficient between 3 & 4 (depending on the air density) a somewhat sudden decrease occurred both in the jet travel before ignition and also in the time lag: below these values time lags of the order of 0 004 sec, as in an engine, were obtained. Fig. 5 shows an example of ignition under these conditions.

On the other hand, another and adverse feature revealed itself: in Fig 6 two results from a series are given for different fixed piston positions, but otherwise strictly comparable, in a. the distance is 17 cm, b. 30 cm from the nozzle. The time of burning is much greater in a. than in b. due to an apparent after-burning, absent in b where the retreat of the flame is fairly uniform the latter effect, and the accompanying more rapid completion of combustion has been found typical of all high excess air coefficient tests. The moving piston test of Fig. 4 also shows the undesirable tail to the flame and the natural conclusion

is that it is due in both cases to the nearness of the piston face; in fact some of the oil-drops must be reaching the piston either before or during combustion with deleterious results. Some additional evidence of this is derived from the presence of a carbon deposit on the piston of the indicator when used under these conditions.

It will be observed that no striking changes are apparent due to a moving piston as compared with a fixed piston, but the former was not gas-tight. It is known however that a plain piston has little or no effectiveness in producing turbulence: some attempts to simulate the practice frequently adopted, of arranging some interaction between piston and combustion chamber faces are referred to later.

Fig. 6. Fig 7

Turbulence

Three methods of producing turbulence were available: a. by fans of the type shown in dotted line Fig. 3, b. by a transverse current of air, induced by a back-stroke of the piston, openings A & B Fig 3 being connected by a pipe, c by a pierced diaphragm placed near the window through which air was forced by the piston (moving in the normal direction) both with and without the connecting pipe between A & B.

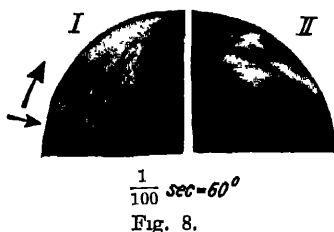
a. & b. gave very marked effects mainly in the direction of reduced time of burning. Fig. 7 shows strictly comparable results for various fan speeds, i. e., ii. 2300 r.p.m., iii. 4000 r.p.m., as against i. with the fan idle (the remainder of the vessel was blocked up during these experiments giving an excess air coefficient of about 4)

Fig. 8 gives results from type b. showing progressive effects from i. to ii. as the piston speed was increased (airstream velocity at A:— 45 ft/sec for i., 70 for ii.) Type c. gave less marked effects except with the connecting pipe; with this in action the same laceration of the flame was observed, but of course in the opposite direction.

In the extreme cases it is evident that the flame is actually being extinguished, in fact it is difficult to draw the line between true speeding up of combustion, and apparent, due to incomplete burning.

In the earlier vessel probably owing to its larger diameter (12 cm) and consequently higher tip speed of the fan, it was possible to suppress completely any visible sign of ignition, though under conditions which otherwise caused ignition: at slightly reduced fan speeds, ignition occurred after a few injections.

This phenomenon raises some interesting points as to the actual process of ignition, seeming to suggest that the oil drops become sur-

Fig. 8.

rounded by products of vaporisation, which the turbulence dissipates, until subsequent injections fill the vessel with a mixture strong enough to assist the local concentrations near each drop. Some preliminary experiments have been tried to determine the nature of the contents of the vessels after a series of such unignited injections.

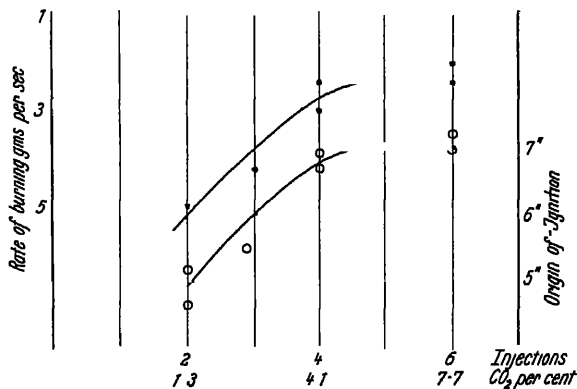



Fig. 9

The gases and vapours from 10 injections corresponding to about 80% correct air quantity were passed through in turn a. a condenser, b. driers, c. caustic potash, d. concentrated sulphuric acid, e. a meter, and consistent results were repeatedly obtained from the weighings before and after. It was found that slow combustion had taken place, but also substantial quantities of heavy hydro-carbons were present, i. e. 0.3 g/c.ft. of the products finally passing the meter, or as a weight percentage of the original gas leaving the condenser the figures were:—
0.8% hydrocarbons, 10% CO_2.

Dilution of Air

In an actual engine, whether working on the 2- or 4-stroke cycle, the air charge is usually contaminated by products of combustion from the previous cycle, the contamination consisting mainly of a small quantity of CO_2 and an increase in the nitrogen content. It is possible in a vessel experiment, starting from a large excess air coefficient to observe the effect of this dilution on the combustion by taking photographs of a series of consecutive injections into the same air charge.

The oil quantity was adjusted to give an initial excess air coefficient of 10, with an air pressure of 300 lbs/sq.in. (21 kg/cm²) and a temperature of 500° C, and flame was visible for six injections after which ignition failed due to an insufficient concentration of oxygen. The results are given in Fig. 9 and are very marked, showing a decreasing rate of burning and an increasing travel of the jet before ignition, with the increase in CO_2 content.

Zusammenfassung

Für die Untersuchung der Einspritzverfahren ohne Luftzusatz bei Ölmotoren werden zuerst die Zusammenhänge zwischen den im Laboratorium und an ausgeführten Maschinen vorgenommenen Versuchen erörtert, dann wird darauf hingewiesen, daß weder auf die Ölströmung in den Düsen noch auf die Bewegung der Öltropfchen im Raum für den gesamten Anwendungsbereich eines der bekannten Gesetze angewendet werden kann. Es erscheint daher gerechtfertigt, die verschiedenen Erscheinungen getrennt zu prüfen, ehe man versucht, die gemeinsamen Wirkungen im Motorzylinder zu erläutern

Einige neuere Versuche bei ununterbrochener Ölströmung durch Düsen, die die einfachste Form derartiger Versuche darstellen, werden angeführt. Es ergaben sich hier besonders interessante Erscheinungen bei der Änderung des Verhältnisses von Düsenlänge zu Durchmesser Bei gewissen derartigen Verhältnissen waren Störungsstellen gegenüber einer sonst vorhandenen Gesetzmäßigkeit festzustellen, die durch besondere Turbulenzerscheinungen erklärt werden. Auch der Einfluß der Viskositätsänderung, die durch Temperaturänderung hervorgerufen wurde, wurde untersucht. Es zeigte sich deutlich, daß die Ölströmung zwischen laminarer und turbulenter Bewegung hin und her pendelte.

Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit einem Brennstoffventil mit intermittierender Einspritzung bildete den nächsten Schritt der Untersuchung. Obwohl sich hinsichtlich der Mengen und Geschwindigkeiten, abgesehen von Drosselverlusten. nur geringe Unterschiede ergaben, wird durch Elastizitäts- und Leckverluste sowie durch den konstruktiven Aufbau eine große Verschiebung der Vorgänge hervorgerufen.

Die Versuche wurden fortgesetzt mit Einspritzungen in ein Druckgefäß, in das u. a ein verstellbarer Kolben eingebaut war und das ein Arbeiten bei Motortemperatur und Motordruckverhältnissen gestattete. Durch ein starkes Glasfenster war eine Beobachtung und Aufnahme der Flammenbildung auf einer rotierenden photographischen Platte möglich Untersucht wurde die Gestaltung sowie das Erlöschen der Flammen unter verschiedenen Verhältnissen Ferner wurde der Einspritz- und Zündverzug, die Brenndauer und Drucksteigerung untersucht Schließlich wird noch über den Einfluß von Restgasmengen auf die Verbrennung auf Grund dieser Versuche berichtet

Rußland

Untersuchung des Arbeitsprozesses und des Wärmeüberganges in der Dieselmaschine

Zentraler Elektrotechnischer Rat

Prof. Dr.-Ing N. Briling

Das Ziel der im vorliegenden Bericht veröffentlichten Forschungsarbeit war, die Wärmeprozesse der Kompressordieselmaschine klarzulegen. Es wurden an einer einzylindrigen Maschine der Firma Gebr. Sulzer, die eine Wellenleistung von 40 PS bei $n = 200$ U/min als Normalleistung ergibt, ausführliche experimentelle Untersuchungen angestellt und die Einflüsse verschiedener Faktoren erörtert, die im folgenden besprochen sind.

Zur Klärung der thermischen Charakteristik der Maschine wurden planmäßig Vorversuche bei verschiedenen Umlaufzahlen, Belastungen und Einblasedrücken durchgeführt, was die Möglichkeit ergab, für jede Arbeitsbedingung den günstigsten Einblasedruck, der dem minimalen Brennstoffverbrauch entspricht, festzustellen. Die so ermittelten Brennstoffverbräuche sind allen folgenden Untersuchungen zugrunde gelegt. Weiter wurden die Wärmebilanzen, die den jeweiligen günstigsten Arbeitsbedingungen entsprechen, für Drehzahlen von $n = 50$ bis $n = 250$ U/min und Belastungsstufen von Leergang bis 25% Überlast aufgestellt.

In Abb 1 und 2 sind zwei Wärmebilanzdiagramme, und zwar Abb. 1 für die Belastungsstufe $^5/_4$ als Funktion der Drehzahl und Abb. 2 für die normale Drehzahl als Funktion der Belastung vorgestellt.

Die Arbeitscharakteristik der untersuchten Maschine ergab einen Abfall der absoluten Reibungsarbeit bei Leistungszunahme Der mechanische Wirkungsgrad wurde unter Rücksichtnahme der indizierten Verdichterarbeit berechnet, wobei festgestellt werden konnte, daß ca. die Hälfte dieser Arbeit im Zylinder wiedergewonnen wird und der wahre mittlere indizierte Druck, der durch den Wärmeprozeß der Maschine bedingt ist, sich durch Abzug von ca. 0,2 kg/cm² aus dem jeweiligen indizierten Druck errechnen läßt (s Zahlentafel I)

In Zahlentafel I sind für $n = 200$ U/min und verschiedene Belastungsstufen die Größen zusammengestellt, die Δp bestimmen und somit für die Berechnung des wahren indizierten Druckes p_i dienen. Der letzte liegt aber als Grundstein der Untersuchung der Wirtschaftlichkeit und ermöglicht einen streng berechtigten Zusammenhang zwischen allen

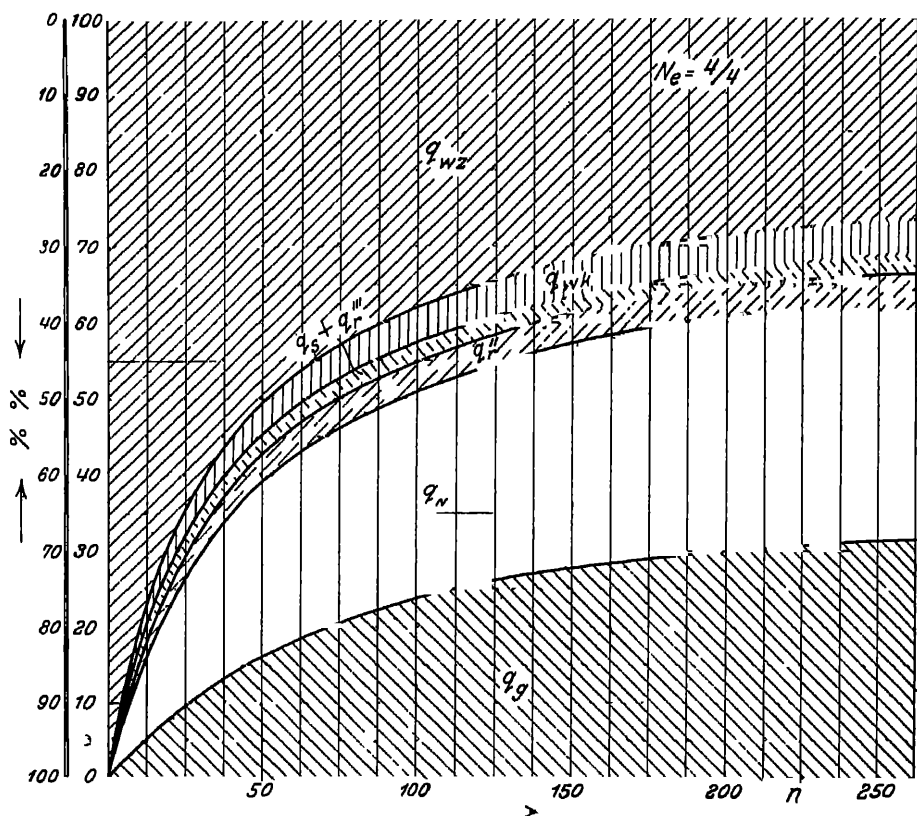



Abb. 1. Wärmebilanz in Abhängigkeit von der Drehzahl

q_{wz} = Zylinderkühlwasserwärme, q_{wk} = Kolbenreibungsarbeit in der Kühlwasserwärme, $q_s + q_r'' + q'''$ = Strahlungs- und Reibungswärme, q_N – effektive Arbeit, q_g = Abgaswärme

Zahlentafel I.

1	2	3	4	5	6	7
Bremshebellast	Verdichtungsenddruck	Auspuffbeginndruck	Verdichterleistung	Einblaseluft-verbrauch pro Arbeitshub	Nützliche Einblaseluftausdehnungsarbeit in den $Pc-Pe$-Druckgrenzen	Verdichterarbeit pro Arbeitshub
Pe kg	Pc kg/cm²	Pe' kg/cm²	N_k ps	Ge gr	$L(c-e)'$ kgm	Lk kgm
60	34,2	2,13	3,9	3,14	73,8	175
120	34,35	2,5	3,95	3,38	74,8	178
180	34,5	2,95	4,0	3,62	75,3	180
240	34,65	3,36	4,1	3,80	75,0	185

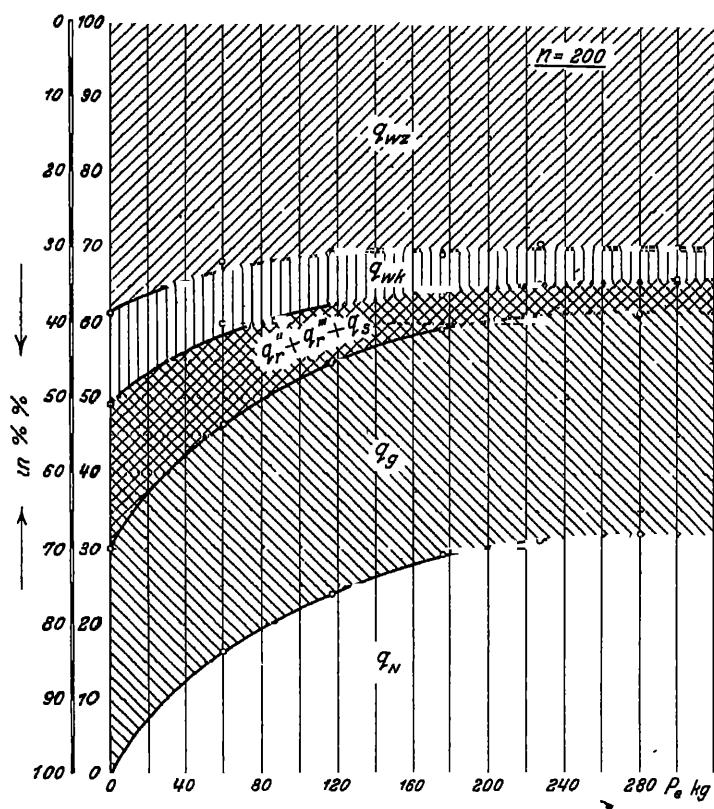



Abb. 2. Wärmebilanz in Abhängigkeit von der Belastung

q_{wz} = Zylinderkühlwasserwärme, q_{wk} = Kolbenreibungsarbeit in der Kühlwasserwärme, q_g = Abgaswärme, q_N = effektive Arbeit, $q_r'' + q_2''' + q_s$ = Reibungs- und Strahlungswärme

(n = 200 U/min)

8	9	10	11	12	13	14
Nützliche Einblaseluftausdehnungsarbeit in % der Verdichtungsarbeit	Der nützlichen Einblaseluftausdehnungsarbeit entsprechende mittlere Druck	Mittlerer indizierter Druck im Arbeitszylinder (nach d. Diagramm)	Mittl. ind. Druck nach Abzug von Δp	Mechanischer Wirkungsgrad „brutto“	Mechan. Wirkungsgrad „netto“	Wahrer mechanischer Wirkungsgrad
$\frac{L(c-e')}{Lk} 100$ %	Δp kg/cm²	p_i kg/cm²	p_i kg/cm²	η_m'	η_m''	η_m'''
42,1%	0,21	3,85	3,64	34,6%	37,8%	36,6%
42,0%	0,22	5,07	4,85	52,5%	58,4%	54,8%
41,8%	0,22	6,30	6,08	63,2%	69,0%	65,5%
40,5%	0,22	7,55	7,33	70,6%	76,0%	72,8%

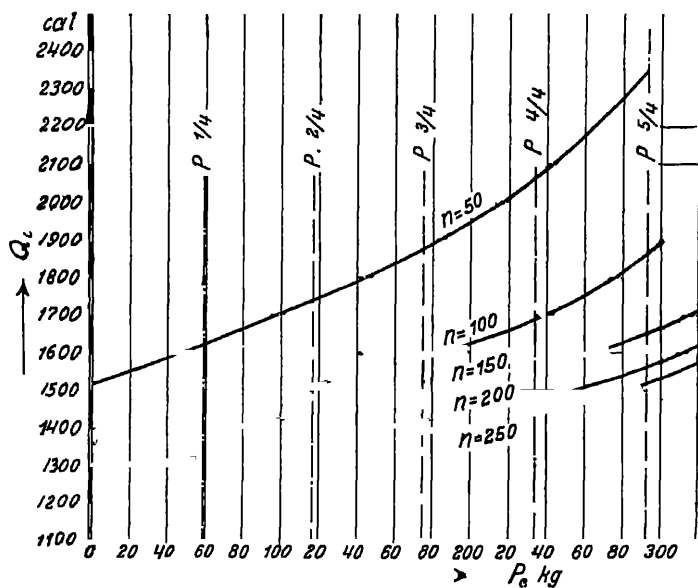



Abb. 3 Warmeverbrauch fur die indizierte PSh als Funktion der Belastung.

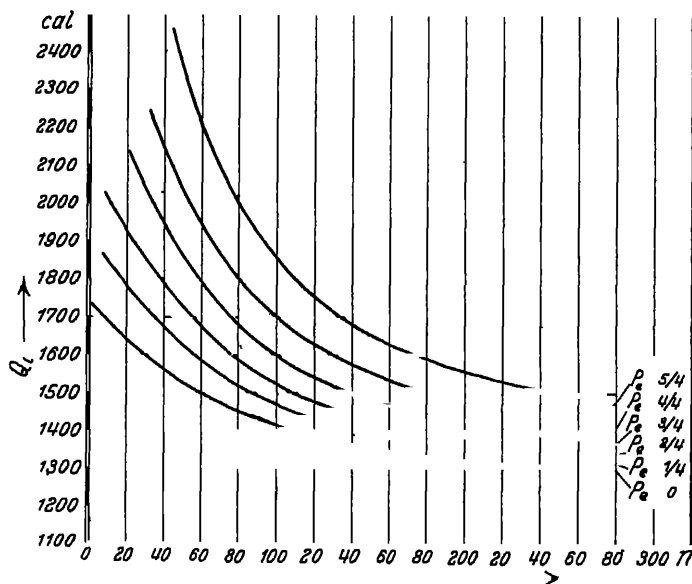



Abb. 4. Warmeverbrauch fur die indizierte PSh als Funktion der Drehzahl

Elementen wie Brennstoffverbrauch, Leistung und Wirkungsgrade, die auf indizierte und effektive Arbeit bezogen werden, festzustellen.

Der nach diesem von uns angegebenen Verfahren bestimmte mechanische Wirkungsgrad η_m ist für $n = 200$ und verschiedene mittlere indizierte Drücke p_i in der Zahlentafel I eingetragen und wurde der Bestimmung des indizierten thermischen Wirkungsgrades und des Gütegrades zugrunde gelegt. Der letzte wurde für alle Arbeitsbedingungen

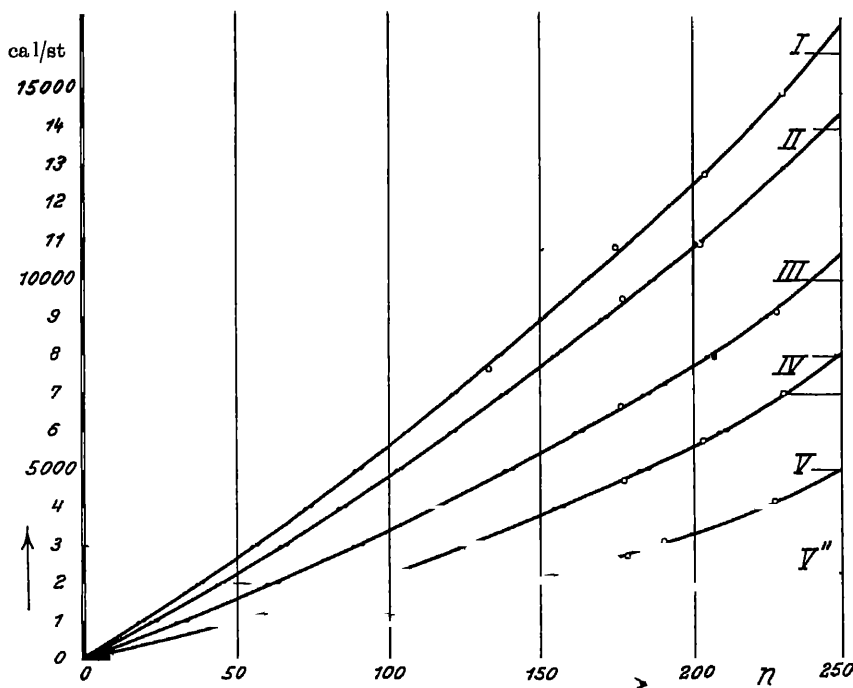



Abb 5 Reibungsarbeit der Maschine

Kurve I = Zylinder mit Verdichtung, Kurve II = Zylinder ohne Verdichtung } Verdichter ohne Verdichtung, Düse abgestellt, Kurve III = Zylinderdeckel ausgebaut, Kolben mit Ringen, Kurve IV = Zylinderdeckel ausgebaut, Kolben ohne Ringe, Kurve V = Reibungsarbeit des Schwungrades und drei Grundlager $N_2 = N_{Elektromotor} - N_{Bremse}$

berechnet. Es ist ferner die Ungültigkeit der üblichen und sich eingebürgerten Begriffsbestimmungen der mechanischen Wirkungsgrade „brutto“ und „netto“ bewiesen worden. Die ermittelten spezifischen indizierten Brennstoffverbrauche, als Funktion des Belastungsgrades aufgetragen, zeigten einen mit dem Belastungsgrad wachsenden Verlauf, was mit der Theorie völlig übereinstimmt.

Dieser spezifische Verbrauch (als Wärmeverbrauch Q_i in cal umgerechnet) ist in Abb. 3 und 4 als Funktion der Belastung und Drehzahl angegeben, wobei die Diagrammwerte unter Bezugnahme der „vollen“ Indikatordiagramme, mit der indizierten Bruttoleistung übereinstim-

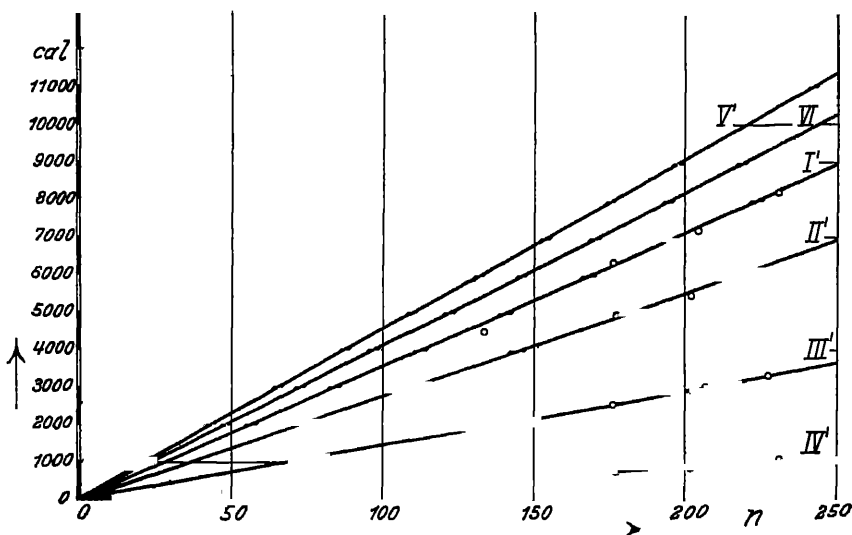



Abb 6 Reibungsarbeit im Kuhlwasser.

Kurve I' = Zylinder mit Verdichtung, Kurve II' = Zylinder ohne Verdichtung, Kurve III' = Zylinderdeckel ausgebaut, Kolben mit Ringen, Kurve IV' = Zylinderdeckel ausgebaut, Kolben ohne Ringe, Kurve V = Gesamtreibungswärme.
$N_s = N_{\text{Elektromotor}} - N_{\text{Bremse}}, \; N_{\text{Grundlagerreibung}}$ und Luftwirbelarbeit des Schwungrades.
Kurve VI = Reibungsarbeit des Verdichterkolbens.

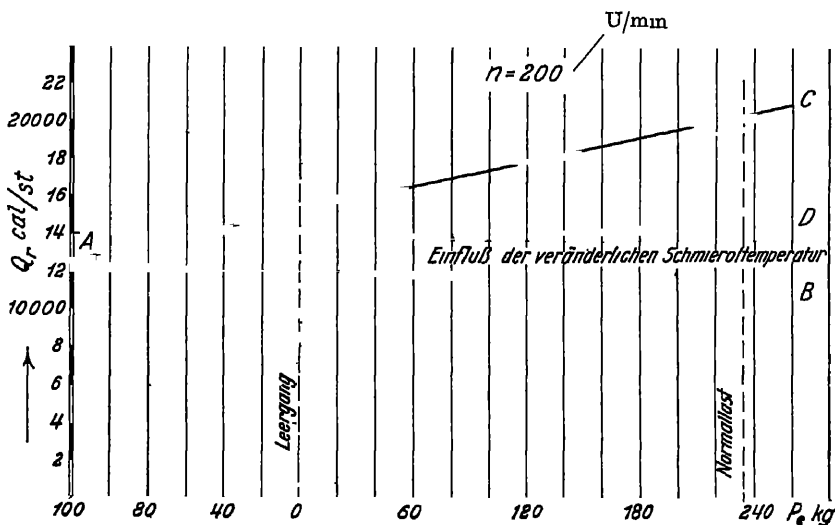



Abb. 7. Reibungsarbeit der Maschine.

Linie AC = Reibungsarbeit bei konstantem Reibungskoeffizient, Linie AD = Reibungsarbeit bei veränderlichem Reibungskoeffizient und konstanter Schmieröltemperatur, Linie AB = gemessene Reibungsarbeit.

mend, berechnet worden sind. Der Einfluß der Energie der Zerstaubungsluft auf die Diagramme wurde hier nicht berücksichtigt.

Um eine detaillierte Wärmebilanz aufstellen zu konnen, wurde eine zusätzliche Untersuchung an der Maschine angestellt, die die Ermittlung der Reibungsarbeit aller ihrer Hauptelemente moglich machte. Zu diesem Zwecke wurde die Maschine von einer äußeren Energiequelle in Drehung gebracht, wobei sie zusatzlich durch die Bremse belastet wurde. Durch Ausbau einzelner Maschinenteile und zusatzliche Bremsspannung, die das Antriebmoment der außeren Energiequelle konstant hielt, konnte die Reibungsarbeit der Maschine bestimmt werden. Gleichzeitige sorgfältig ausgeführte kalorimetrische Messungen ergaben die Reibungsarbeit des Kolbens, die in Abhangigkeit von Drehmoment und Drehzahl 40 bis 50% der gesamten Reibungsarbeit in Anspruch nimmt.

In Abb. 5 und 6 sind die Reibungsarbeiten, in Warmeeinheiten umgerechnet, einzelner Maschinenteile und die sich beim Kalorimetrieren ergebende Wärmemengen als Funktion der Drehzahl dargestellt. Die romischen Zahlen mit den Primindexen gelten fur gleichzeitige Arbeits- und Kalorimetriebestimmungen. Der Linienzug V der Abb. 6 stellt die Arbeit, die in Abb. 5 durch die Kurve *I* bestimmt ist nach Abzug der Reibungsarbeit des Schwungrades, der Grundlager und der Steuerwelle dar. Die Ordinatenabschnitte zwischen Kurven *V* und *VI* entsprechen der Reibungsarbeit des Verdichterkolbens. Zur Kontrolle der ermittelten Werte wurde die Warmebilanz der „kalten“ Maschine für alle untersuchten Fälle aufgestellt. Weiter wurden die Einflusse der Normaldrücke in den Maschinenteilen und der Schmierölviskosität untersucht. In Abb. 7 sind dieselben durch die Linienzüge *AD* und *AB* dargestellt. Linie *AD* gibt den Reibungsarbeitsanwachs, durch die Normalkräfte hervorgerufen, als Funktion des Belastungsgrades bei $n = 200$ U/min an, während die Linie *AB* die Abnahme derselben wegen der Änderung der Schmierölviskositat darstellt. Der früher angegebene mechanische Wirkungsgrad der warmen Maschine bei Leergang wurde mit der Reibungsarbeit der vom Elektromotor angetriebenen „Kalten“ Maschine in Einklang gebracht.

Bei der Ermittlung der thermischen Charakteristik der Maschine wurde einleitend die Verdichtergruppe untersucht, was den grundlegenden Zusammenhang der relativen Verdichterarbeit $\frac{N_k}{N_e}$ und $\frac{N_k}{N_i}$ und der spezifischen Verdichterleistung $\frac{N_k}{g_m}$ (auf die Einheit des zerstäubten Brennstoffes bezogen) in Abhangigkeit von Belastungsstufe und Drehzahl feststellen ließ.

Der Einfluß der Einblaseluft auf den thermischen Prozeß wurde durch Zerlegung der Einblaseluftenergie auf einzelne, die Ökonomie der Maschine beeintrachtigende Elemente nach der Theorie von *H. Triebnigg*[1] untersucht. Für jeweilige Belastung und Drehzahl wurde der Energie-

[1] *H Triebnigg*, Der Einblase- und Einspritzvorgang bei Dieselmaschinen. Julius Springer, Wien 1925

verbrauch an Einblaseluft fur je 1 kg zerstaubten Brennstoffes berechnet. Für die nach Vorstehendem bestımmte gunstigste Einblasedrücke ergab sich ein fast von der Drehzahl unabhängiges Verhaltnis der Einblaseluft zur Brennstoffmenge.

Ebenso ließ sich ein unwesentlicher Abwachs der auf 1 kg Brennstoff bezogenen Einblaseluftmenge mit dem Belastungszuwachs feststellen. Die gunstigsten Eınblasedrucke ermoglichen die Bestimmung der je-

Abb 8 Eınblasevorgang beı veranderlıcher Belastung.

p_a = Einblasedruck, p_c = Verdichtungsenddruck, w_1 = Luftgeschwindigkeit, w_2 = Gemischgeschwindigkeit, L = *kınetısche Luftenergıe*, O_z = Gesamtoberfläche der Brennstoffteilchen, g_m = Brennstoffmenge, g_k = *Eınblaseluftmenge*, r_1 = Brennstoffteilchenhalbmesser.

weilıgen Brennstoffteilchenhalbmesser, die die Güte der Verbrennung charakterisıeren konnen.

Die erwahnten Größen sind ın Abb 8 für $n = 200$ bei veränderlicher Belastung und in Abb. 9 für Normalbeslatung und veranderlıcher Drehzahl eıngetragen. Außerdem finden sıch ın denselben Diagrammen die Ausflußgeschwindıgkeıten der Luft und des Gemısches

In den weıteren Untersuchungen war das Augenmerk auf die Aufklarung der Hauptfaktoren, die den Verlauf des Arbeıtsvorganges der Maschine bedingen, gerichtet

In erster Linie war das Gesetz des Warmeubergangеs von den heißen Gasen an die Zylinderwand aufzubringen Dіe Losung dieser Aufgabe förderte eine genaue Gliederung der Kühlwasserwarme, da sie die Kolbenreibungsarbeit und einen Teil der Auspuffgaswarme, die im Auspuffventilkrummer sıch ausscheidet, mıtfuhrt. Die letztgenannte Warmemenge muß als Wärmeabgabe an die kalte Warmequelle angesehen

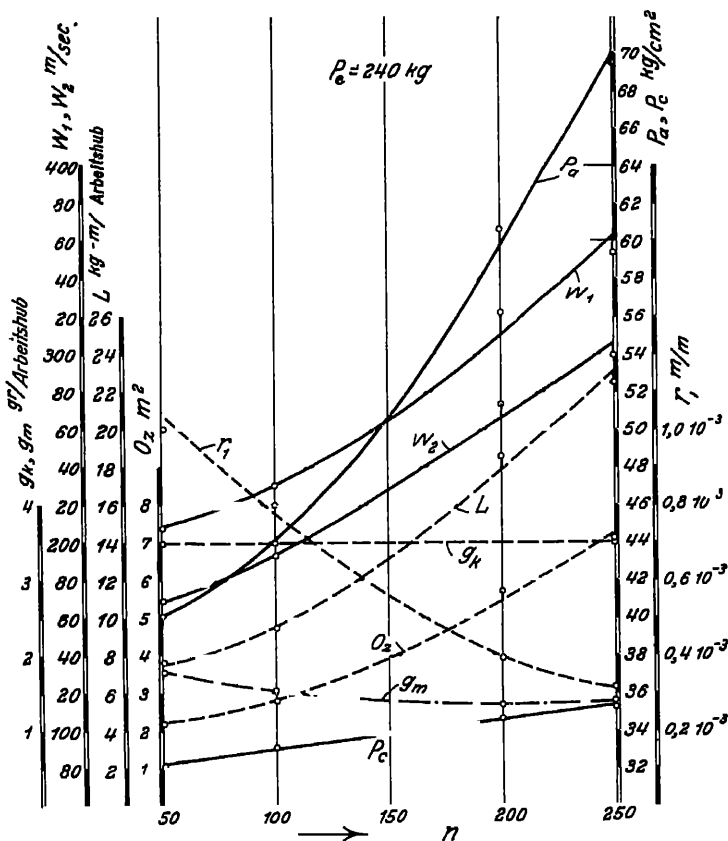



Abb 9 Eınblasevorgang beı veränderlıcher Drehzahl

p_a = Einblasedruck, p_c = Verdichtungsenddruck, w_1 = Luftgeschwindigkeit, w_2 = Gemischgeschwindigkeit, L = kinetische Luftenergie, O_z = Gesamtoberfläche der Brennstoffteilchen, g_m = Brennstoffmenge, g_k = Einblaseluftmenge, r_1 = Brennstoffteilchenhalbmesser

werden, da sie nach Beendıgung der Arbeitsleistung ım Zylınder stattfindet und auf die Warmeausnutzung keinen Eınfluß hat.

Die in dem Kühlwasser als Wärme enthaltene Reıbungsarbeit des Kolbens lıeß sich auf Grund der erwahnten Versuche, bei denen die Maschine durch den Elektromotor ın Drehung gesetzt wurde, bestimmen. Der Warmeübergang ım Auspuffkrummer berechnet sich aus der Warmebilanz der inneren Energie der Verbrennungsgase am Auspuffbegınn

und der Wärme, die im Auspuffkalorimeter gemessen wurde, laut Gleichung

$$U_{e'} = q_g + U_o + q_n + q_w + q_e + q_\gamma \,. \tag{1}$$

Hierin sind

$U_{e'}$ = die innere Energie der Arbeitsgase am Auspuffbeginn,

$q_g = \dfrac{Q_g}{30\,n}$ die vom Abgaskalorimeter aufgenommene Wärme in cal/Arbeitshub (Q_g Abgaskalorimeterwärme für 1 h),

U_o die innere Energie der Verbrennungsgase von 0° ab bis zur Maschinentemperatur,

q_n die im Auspuffkrümmer an das Kühlwasser abgegebene Wärmemenge,

q_w die kinetische Energie der Auspuffgase hinter dem Abgaskalorimeter,

q_e die während dem Auspuff- und dem Ausschubhube im Zylinder an das Kühlwasser übergegangene Wärme,

q_γ die innere Energie der im Zylinder gebliebenen Restgase am Ende des Ausschubhubes.

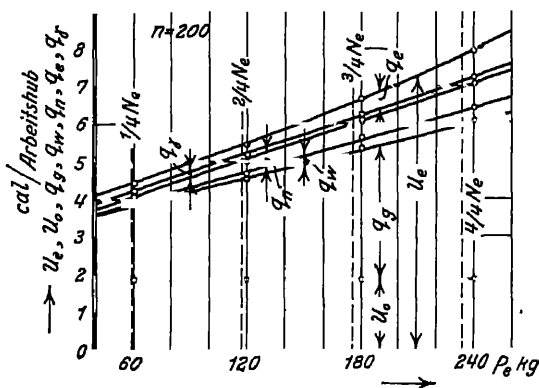



Abb 10 Wärmebilanz des Auspuffvorganges.

Die Bilanz ist in Abb. 10 für die normale Umlaufzahl $n = 200$ und veränderliche Belastung eingetragen Ähnliche Bilanzdiagramme wurden für alle untersuchten Drehgeschwindigkeiten aufgestellt.

Es konnte somit festgestellt werden, daß die Krümmerwärmemenge von 3 bis 5% der Brennstoffenergie beträgt.

Diese Untersuchung gestattete die Eliminierung aller Kühlwasserwärme, die nicht durch den Arbeitsprozeß bestimmt ist In Abb. 11 ist die Aufteilung der Gesamtkühlwassermenge auf einzelne Komponenten geschildert und zwar für zwei mittlere indizierte Drücke $p_i = 5\,\text{kg/cm}^2$ und $p_i = 7\,\text{kg/cm}^2$, wobei als Abszisse die Umlaufzahl dient. Die ermittelte, durch den Wärmeübergang bestimmte Wärmemenge Q wurde weiter untersucht. Die Untersuchung umfaßte die erwähnten Belastungs- und Drehzahlbereiche und wurde wie auf 1 h also auch auf 1 Arbeitshub bezogen.

Präliminäre Betrachtungen bewiesen die Begründung der Wärmeübergangsgleichung von *W. Nusselt*[2], die den Wärmeübergang in drei Summanden teilt: den Wärmeübergang durch Strahlung; den Wärmeübergang durch Berührung und den Wärmeübergang durch Wirbelung. Eingehende Untersuchungen des gewonnenen Experimentalmaterials stellten aber fest, daß diese Gleichung nicht für alle Fälle anwendbar ist. Wir führten einen neuen Wärmeübergangsfaktor ein, nämlich den durch

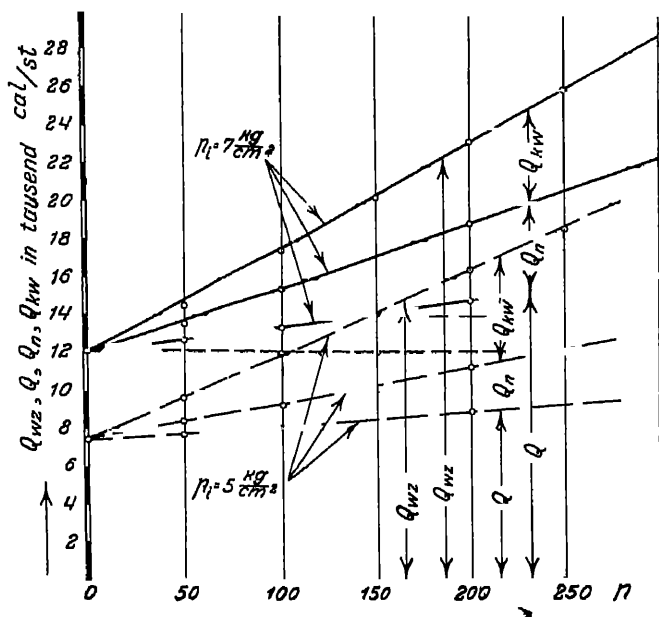



Abb. 11. Aufteilung der Gesamtkühlwassermenge Q_{wz}

Q_{kw} = Kolbenreibung im Kühlwasser, Q_n = Wärmemenge im Auspuffkrümmer

die Einblaseenergie hervorgerufenen, und nahmen von den *Nusselt*schen abweichende Koeffizienten an, hielten aber an der grundlegenden Abhängigkeit des Wärmeüberganges von Druck und Temperatur fest.

Die von uns aufgestellte Gleichung lautet:

$$\left.\begin{aligned} Q = {} & 0{,}362\left(\frac{T_g}{(100)^4} - \frac{T_w}{(100)^4}\right) F \cdot t + 0{,}99 \sqrt[3]{p^2 T_g}\,(T_g - T_w)\, F \cdot t \\ & + 1{,}45 \sqrt[3]{p^2 T_g} \cdot (T_g - T_w) F t + 0{,}185 w_m \sqrt[3]{p^2 T_g} \cdot (T_g - T_w) F \cdot t \text{ cal/h} \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Hierin ist

Q die vom Kühlwasser durch den Wärmeübergang aufgenommene Wärmemenge (cal/h),

T_g die Gastemperatur (°abs),

[2] *W. Nusselt*, Der Wärmeübergang in der Verbrennungskraftmaschine Forschungsheft 264, Berlin 1923

T_w die Wandungstemperatur (°abs.),
p der Gasdruck (kg/cm²),
w_m die mittlere Kolbengeschwindigkeit (m/s),
t die Zeit in Stunden

Das erste Glied gibt den Warmeubergang durch Strahlung, das zweite den Wärmeübergang durch Berührung, das dritte den Warmeübergang durch Einblaseluftwirbel und das vierte den Warmeübergang durch Ansaugluftwirbel an.

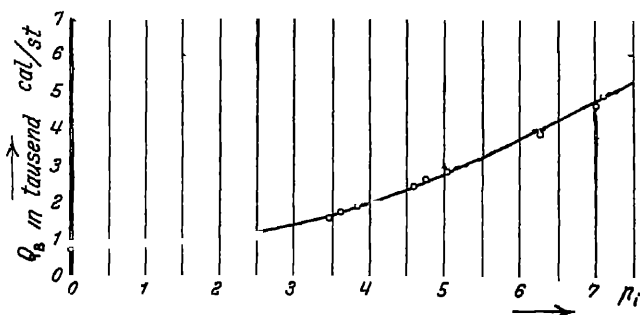



Abb. 12 Wärmeubergang durch Beruhrung als Funktion von p_i.

Die aufgestellte Gleichung gibt eine gute Übereinstimmung für sämtliche Versuche In Abhängigkeit vom mittleren indizierten Druck ließ sich eine empyrische Gleichung für den Warmeübergang durch Strahlung und Berührung schreiben Für die untersuchte Maschine, die eine

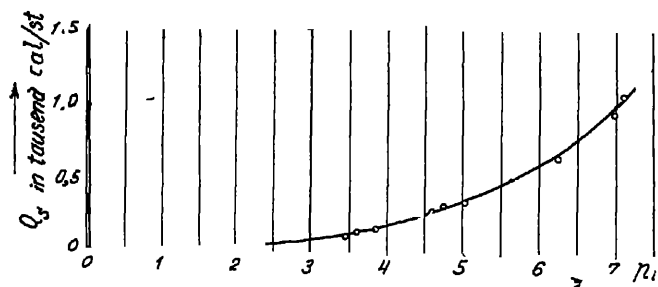



Abb 13. Warmeubergang durch Strahlung als Funktion von p_i.

gesamte Kühloberflache von 0,631 m² aufwies, lautet diese Gleichung

$$Q_s + Q_B = 800 + 80\, p_i^2 + 2{,}80\, p_i^3 \,\mathrm{cal/h}, \qquad (3)$$

in der Q_s den Wärmeübergang durch Strahlung und Q_B den Warmeubergang durch Beruhrung darstellt.

Abb. 12 und 13 geben die Abhangigkeit des Wärmeuberganges durch Strahlung und Beruhrung in cal/h vom mittleren indizierten Druck an. Die eingetragenen Kurven geben nach Summierung die Gleichung (3).

Die ganze übertragene Warme Q errechnet sich fur unsere Maschine mit 0,631 m² gekuhlter Flache durch Multiplikation der durch Beruhrung

ubertragenen Wärmemenge mit der Zahl $(1{,}45 + 0{,}185\, w_m)$ und Addition des Produktes an die durch Gleichung (3) gegebenen Werte.

Gleichung (3) auf I_m^2 Kühlfläche bezogen, nimmt die Form

$$Q_s + Q_B = 1265 + 126{,}5\, p_i^2 + 4{,}44\, p_i^3 \,\text{cal/m}^2\text{h} \tag{4}$$

an. Als Gültigkeitsgrenzen seien $p_i = 3$ bis $8\ \text{kg/cm}^2$ angegeben.

Die Betrachtung des auf einen Arbeitshub bezogenen Wärmeuberganges läßt die umgekehrte Proportionalitat der durch Strahlung, Beruhrung und Einblasewirbel übermittelten Wärmemengen zur Drehzahl feststellen, wahrend die durch Ansaugluftwirbel übertragene Warmemenge von der Umlaufzahl unabhangig ist

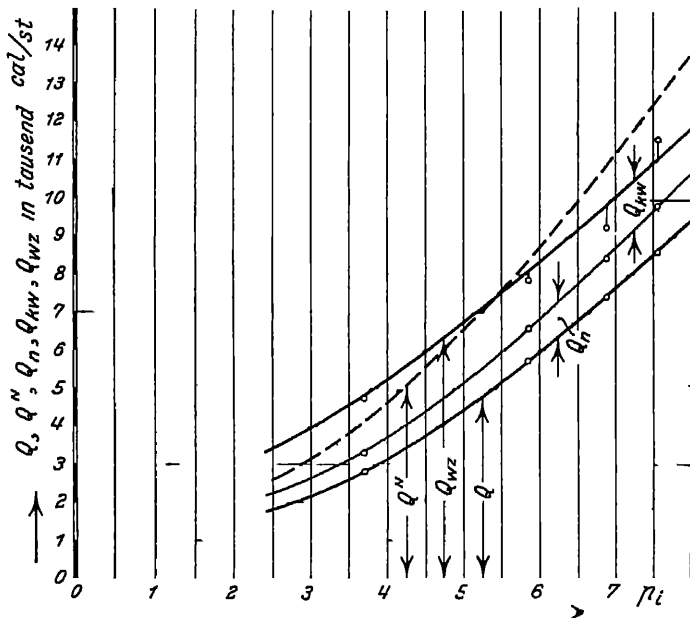



Abb 14. Aufteilung der Gesamtkuhlwasserwarme Versuchsreihe von *Munzinger*.

Die aufgestellte Wärmeübergangsgleichung wurde ferner an den Versuchsergebnissen von Dr.-Ing *Munzinger*[3], Prof. *A. Nagel*[4] und Prof. *A. Stauß*[5] gepruft, namlich auf Dieselmotoren verschiedener Große und Drehzahl Es konnte eine vollige Übereinstimmung der gemessenen Werte mit unseren theoretischen Berechnungen festgestellt werden. Bei jeder Versuchsreihe wurde die Bilanz der Kuhlwasserwarme und Summierung der Strahlungs- (Q_s), Beruhrungs- (Q_B) und Wirbelwarme $[(1{,}45 + 0{,}185\, w_m)\, Q_B]$ mit der Kolbenreibungswarme (Q_{kw}) und Auspuffkrummerwarme (Q_n) aufgestellt. Abb 14 bis 16 geben diese Bilanzen wieder Die strichpunktierten Linienzüge und die Ordinaten Q^N stellen den Warmeubergang nach der Gleichung von *Nusselt* vor

[3] und [4] Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens

[5] *Güldner*, Das Entwerfen und Berechnen der Verbrennungskraftmaschinen Dritte Auflage S 560 Berlin 1914

Weiter wurde unsere Gleichung an Versuchsergebnissen zweier Luftfahrzeugmotoren, nämlich einem *Hispano-Suisa-* und einem *Lyberty-*Motor geprüft. Das Zerstaubungsluftwirbelglied mit der Festzahl 1,45 der Gleichung wurde ausgeschaltet, was die Arbeitsweise solcher nach dem Otto-Verfahren arbeitenden Maschinen berucksichtigt. Es wurde ähnlicherweise die Kühlwasserwärme in ihre Komponenten Q_s, Q_B, Q_w, Q_{kw} und Q_n aufgeteilt. Die Ergebnisse sind in Abb. 17 und 18 eingetragen. Die Abbildungen zeigen die Ungenauigkeiten, die bei Anwendung der *Nusselt*schen Gleichung an Motoren letztgenannter Art auftreten.

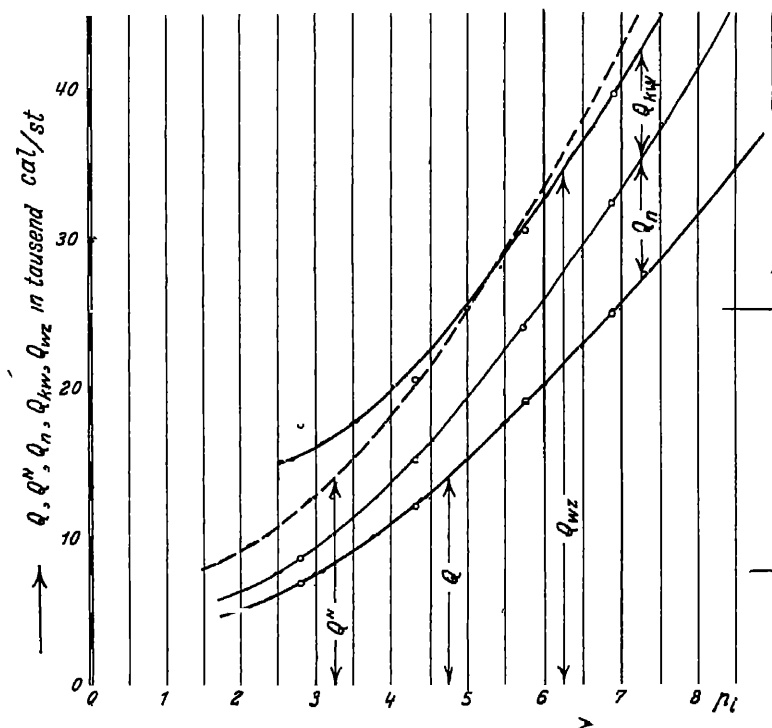



Abb 15. Aufteilung der Gesamtkuhlwasserwärme. Versuchsreihe von *Nägel.*

Weiter wurden die bei den untersuchten Drehzahlen und Belastungsstufen gewonnenen Indikatordiagramme eingehend untersucht und Bilanzen einzelner Arbeitsprozeßphasen aufgestellt. Letztere gaben einen weiteren Fall zur Prufung unserer Wärmeübergangsgleichung.

Die Untersuchung des Verdichtungsvorganges stellt eine befriedigende Übereinstimmung mit der Warmeübergangsfunktion fur alle Drehzahlen und Belastungen fest und gab die Möglichkeit, den Polytropenexponent n der Verdichtungskurve zu bestimmen. Wahrend des Verdichtungshubes geht von 9,15 bis 13% der ganzen Warmemenge, die von den Gasen an das Kuhlwasser durch Warmeübergang übertritt, an das Wasser

über. Dieser Betrag hangt von der Belastung ab. Die Abhängigkeit des Wärmeüberganges durch Beruhrung wahrend der Verdichtung vom mittleren indizierten Druck ist in Abb. 19 dargestellt, während Abb. 20 die Abhängigkeit des Warmeuberganges durch Strahlung wiedergibt.

Die Wärmebilanz der gleichzeitig verlaufenden Verbrennungs- und Ausdehnungsprozesse ließ sich gut aufstellen.

Die Warmebilanzgleichung lautet

$$U_{Lc} + U_{\gamma c} + h_u g_m + I_v = U_{e'} + A L_{ce'} + q_{ce'}\,. \tag{5}$$

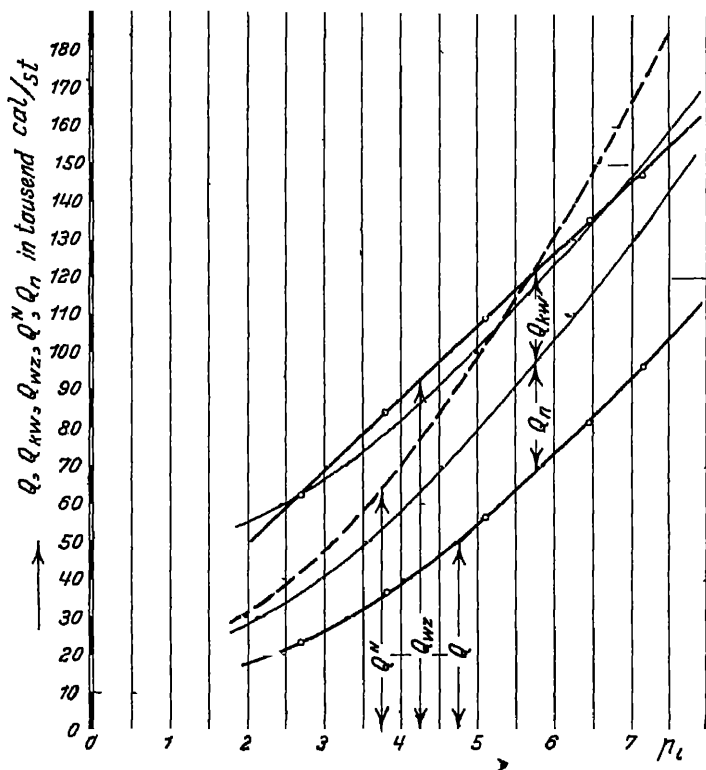



Abb. 16. Aufteilung der Gesamtkuhlwasserwarme Versuchsreihe von *Stauß*.

Hierin sind

U_{Lc} die innere Energie der Ladungsluft am Ende der Verdichtung,
$U_{\gamma c}$ die innere Energie der Verbrennungsruckstande der Verdichtung,
$h_u g_m$ die chemische Energie des eingefuhrten Brennstoffes,
I_v der Warmeinhalt der Einblaseluft,
$U_{e'}$ die innere Energie der Verbrennungsprodukte am Ausdehnungsende,
$A L_{ce'}$ die absolute Arbeitsleistung der Gase während der Verbrennung und Expansion,
$q_{ce'}$ die an die Wandung abgegebene Warmemenge.

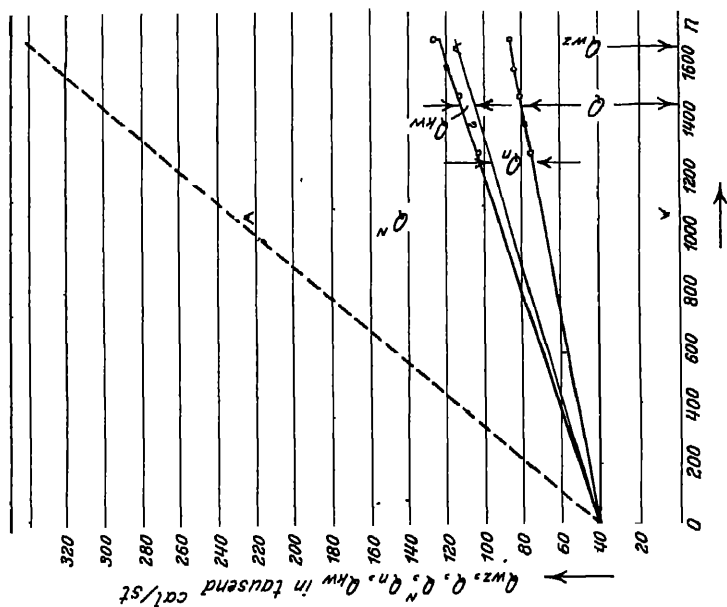



Abb. 17. Aufteilung der Gesamtkuhlwasserwarme Versuchsergebnisse am *Hispano-Suisa*-Flugmotor

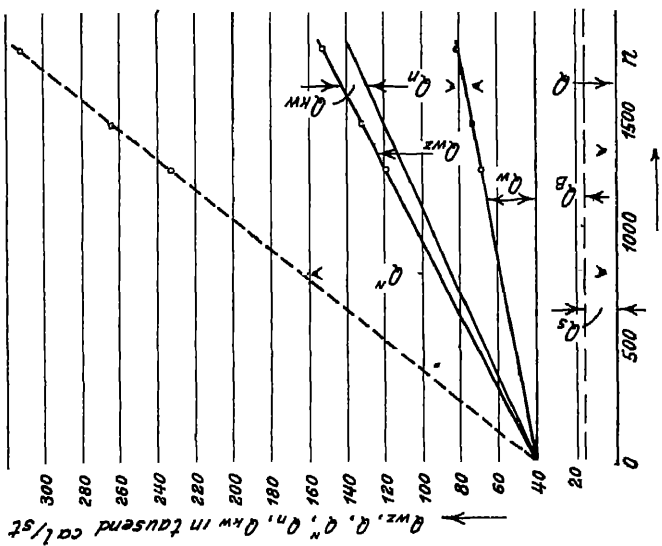



Abb 18. Aufteilung der Gesamtkuhlwasserwärme. Versuchsergebnisse am *Liberty*-Flugmotor.

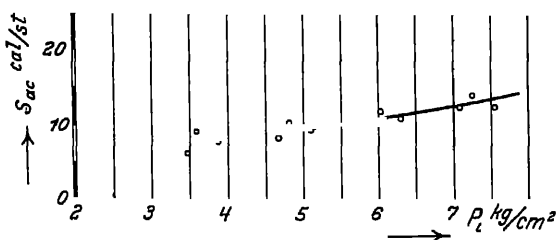



Abb. 19 Strahlungswärmeubergang während des Verdichtungshubes in Abhängigkeit vom mittleren indizierten Druck

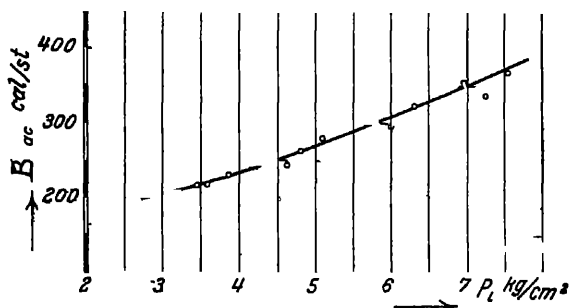



Abb 20 Beruhrungswarmeubergang wahrend des Verdichtungshubes in Abhängigkeit vom mittleren indizierten Druck

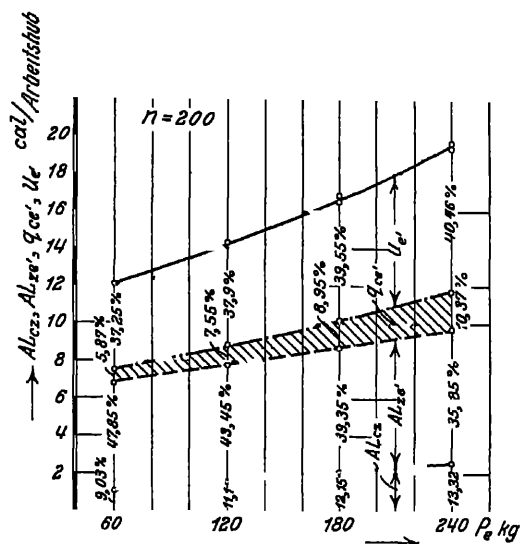



Abb 21. Warmebilanz der Verbrennungs- und Ausdehnungslinie.

Während der sichtbaren Verbrennung laßt sich nur ein Bruchteil der chemischen Energie des Brennstoffes in Warme überfuhren. Die Verbrennung dringt tief in die Ausdehnungslinie ein. Der Wirkungsgrad der Verbrennung ξ_z, der den Teil der wahrend der sichtbaren Verbrennung in Warme und Arbeit verwandelten chemischen Energie des Brennstoffes bestimmt, steht mit dem während dieses Prozesses an das Wasser über-

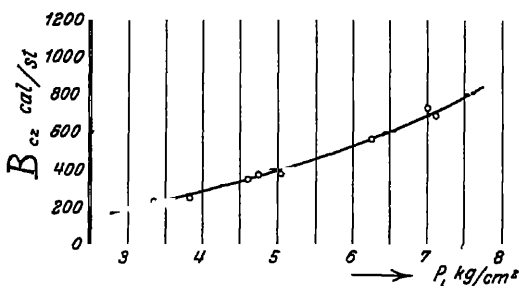



Abb. 22 Wärmeubergang durch Beruhrung während der sichtbaren Verbrennung als Funktion des mittleren indizierten Druckes

gehenden Anteil ξ_1 und dem als Nachbrennwärme anzunehmenden Anteil ξ_2 in folgender Beziehung

$$\xi_z + \xi_1 + \xi_2 = 1 \tag{6}$$

Der Wirkungsgrad der Verbrennung liegt in den Grenzen 60 bis 80%. Vom Wasser wird wahrend der sichtbaren Verbrennung im Mittel ca. 14% der ganzen von den heißen Gasen übergegangenen Kuhlwasserwärme aufgenommen.

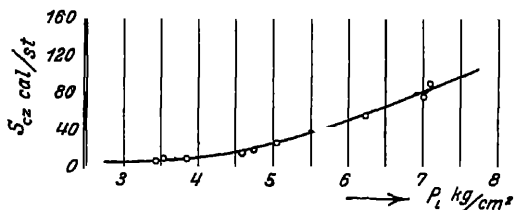



Abb 23 Warmeubergang durch Strahlung während der sichtbaren Verbrennung als Funktion des mittleren indizierten Druckes

In Abb. 22 und 23 sind die wahrend der sichtbaren Verbrennung durch Berührung und Strahlung an das Wasser ubertragenen Warmemengen als Funktion von p_i eingetragen

Es wurde weiter der Zusammenhang zwischen dem Wirkungsgrad der Verbrennung ξ_z und dem mittleren Ausdehnungsexponenten n_2, der graphisch in Abb. 24 gezeigt ist, ermittelt Dieser Zusammenhang ist fur die Warmeberechnung des Arbeitsprozesses unentbehrlich. Damit läßt sich die gegenseitige Beziehung der beiden Großen leicht bestimmen

Es werden gewöhnlich für den Wirkungsgrad der Verbrennung zu hohe Werte angenommen, die der Wärmebilanz widersprechen

Die Konstruktion der Ausdehnungslinie mit einem veränderlichen Exponent läßt sich leicht durch das Einzeichnen einer gleichzeitigen

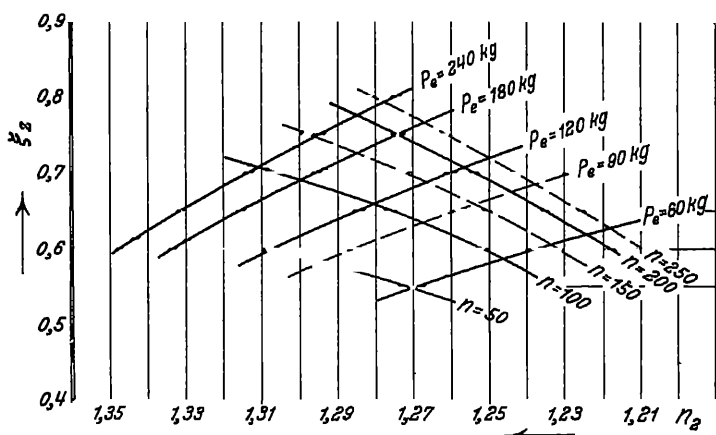



Abb 24. Beziehung $\xi_z - n_2$. P_e = Hebelbremsbelastung P_e = 234 kg-Normalbelastung n = Drehzahl

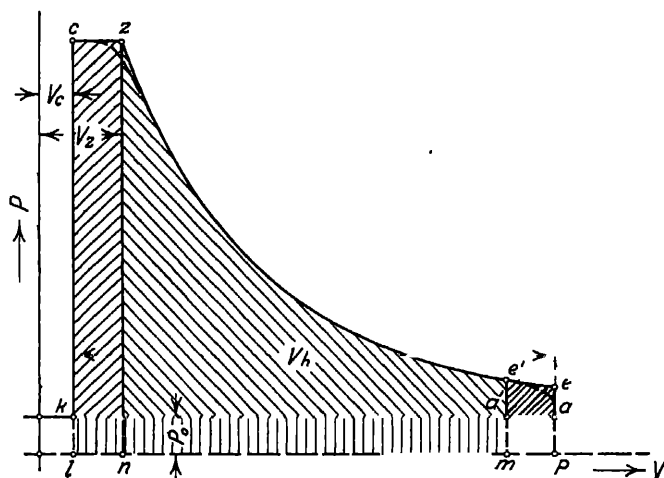



Abb. 25 Aufzeichnung der Ausdehnungslinie mit veränderlichem Exponent

Hyperbel mit verlegter Abszissenachse in die aufgenommene Ausdehnungslinie nach Abb. 25 durchführen Dieses Verfahren gibt eine befriedigende Übereinstimmung der eingetragenen Ausdehnungslinie mit der Aufgenommenen. Die Wärmebilanz der Expansionslinie steht mit der Wärmeübergangsfunktion im guten Einklang. Die während der

Expansion dem Kühlwasser abgegebene Wärmemenge beträgt im Mittel 57% der ganzen von den Gasen an das Wasser übergehenden Wärmemenge.

Der Hauptteil des nachbrennenden Brennstoffes scheidet während des ersten Drittels der Ausdehnungslinie seine Wärme aus; in einzelnen Fällen brennen kleinere Mengen bis zum Auspuffventilanhub nach.

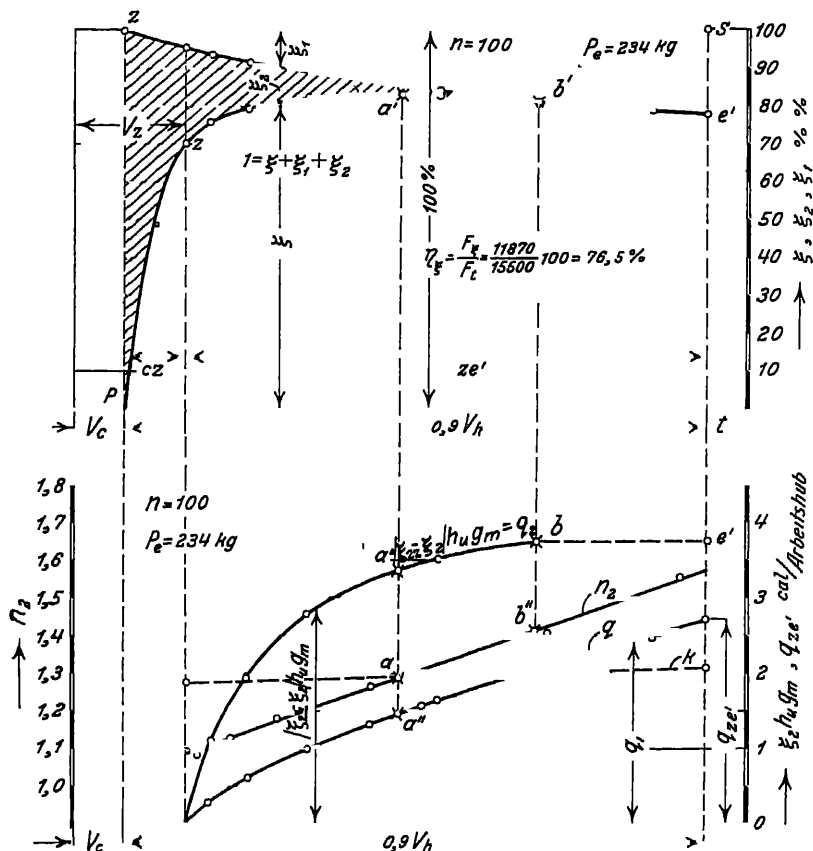



Abb. 26 a und b. Graphische Darstellung der Verbrennungs- und Ausdehnungsprozesse.

Der Ausdehnungslinienexponent ändert sich und ist am Anfang der Ausdehnung kleiner und am Ende derselben größer als der Adiabatenexponent. Die Veränderlichkeit seiner Größe mit dem Hube ist durch den Wärmeübergang und das Nachbrennen nachgerechnet, was aus Abb. 26a und b ersichtlich ist. Abb. 26a gibt die Veränderlichkeit des aus den Indikatordiagrammen ermittelten Exponenten n_2 mit dem Kolbenniedergang und des Adiabatenexponenten k an. Die Wärmeübergangsintegralkurve (q), durch Planimetrieren der Wärmeübergangs-

kurve errechnet, ist auch im Diagramm eingetragen. Die Ausdehnungskurve läßt die innere Energie der Grenzpunkte und die Arbeit AL bestimmen. Die genannten Werte lassen sich durch die Gleichung

$$[\xi_2^{(1)} - \xi_2^{(2)}]\, h_u\, g_m = AL_{1-2} + (U_1 - U_2) + q_{1-2} \qquad (7)$$

mit der Nachbrennwärme $(\Delta\,\xi_2)_2^1\, hu\, gm$ für jeden beliebigen Abschnitt binden. Die $(\Delta\,\xi_2)_2^1\, h_u\, g_m$-Linie findet sich in Abb. 26. Der Tangentenneigungswinkel der q_1 und (q_2)-Kurven läßt die gegenseitige Beziehung der Exponenten der wirklichen Ausdehnungslinie und der Adiabate feststellen.

Der Punkt, wo die Expansionslinie einen adiabatischen Verlauf[6] hat, wird durch den Kreuzpunkt der n_2- und k-Kurven und die Gleichheit der Tangentenneigungswinkel der (q)- und (q_2)-Kurven bestimmt. Die Verbrennungsgleichung wurde für die Ausdehnungslinienpunkte geschrieben, was die Bestimmung jeweiliger ξ-Werte und die Untersuchung des Nachbrennens während der Expansion gestattete Der Punkt a' in Abb. 26b, wo die Tangente zur ξ-Kurve der Abszissenachse parallel liegt, wird durch den Punkt des adiabatischen Ausdehnungsverlaufes bestimmt. Das Ende des Nachbrennens, durch Punkt b in Abb. 26a angedeutet, und der weitere Ausdehnungsverlauf (bei alleiniger Wärmeabgabe) wurde durch Annahme

$$(\xi_{2z} - \xi_2)\, h_u\, g_m = 0 \quad (\xi_{2z} = \xi_2)$$

Gleichung (7), verfolgt. In Abb. 26b äußert sich die Beendigung des Nachbrennens durch den Zusammenfluß der Verbrennungswirkungsgrad- (ξ) und Wandungsverlustkurven (ξ_1).

Die ganze Untersuchung zeigte, daß der Wärmeübergang von den Gasen an das Zylinder- und Deckelkühlwasser, auf Brennstoffwärme je Arbeitshub bezogen, in Abhängigkeit von Drehmoment und Drehzahl, sich gut mit der Wärmebilanz des ganzen Arbeitsprozesses in Einklang bringen läßt.

Diese Ergebnisse haben eine neue Methode für die Gütegradbestimmung in Abhängigkeit von Wärmeübergang und Nachbrennen vorzuschlagen erlaubt. Aus Abb. 26b ist zu ersehen, daß die sinkende Güte des Arbeitsprozesses durch die Wärmeabgabe an das Kühlwasser (ξ_1) und das Nachbrennen (ξ_2) beeinträchtigt wird. Beide Einflüsse wirken auf die mögliche Brennstoffenergieausnutzung herunterdrückend ein (abgesehen vom Einfluß der Kompressionslinie). Es kann nur der zwischen Abszissenachse und ξ-Kurve liegende Brennstoffwärmeanteil als in Arbeitsumwandlung disponibel angesehen werden

Es hat sich erwiesen, daß das Verhältnis der Flächen zwischen der Abszissenachse und ξ-Kurve (F_ξ) zur Rechteckfläche $PZSt\,(F_t)$ die Güte der Wärmeausnutzung im Zylinder charakterisiert, die durch den Gütegrad η_g bestimmt wird.

$$\eta g = \frac{\eta_i}{\eta_t} = \frac{F_\xi}{F_t} = \frac{\xi_m\, \eta_t}{\eta_t}. \qquad (8)$$

[6] Als Punkt, wo die Nachbrennwärme dem Wandungskühleinfluß das Gleichgewicht hält, aufzufassen

Die Zergliederung des Wärmeüberganges und des Nachbrennens während der Ausdehnung gestattete den Gütegrad nach angegebenem Verfahren für alle untersuchte Arbeitsbedingungen zu bestimmen.

Um weiter den mittleren Einfluß des Wärmeüberganges auf den indizierten Wirkungsgrad zum Vorschein kommen zu lassen, mußte das Gesetz des Überganges von den Endwerten des Wärmeüberganges aus den Versuchsergebnissen zu den mittleren aufgestellt werden.

Dasselbe stellte sich in der Form

$$\xi'_m = \xi_{1(e')} (0{,}73 - 0{,}012\, p_i) \tag{9}$$

für alle Drehzahlen fest.

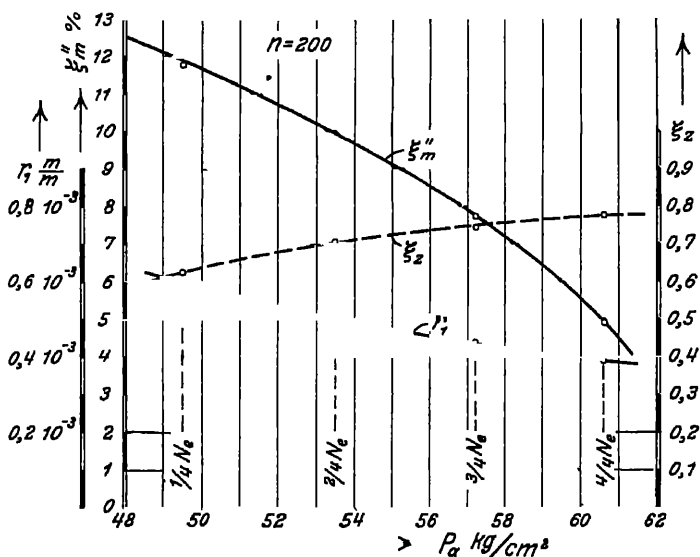



Abb 27 Zusammenhang zwischen der Güte der Verbrennung und Brennstoffteilchenhalbmesser.

In der Gleichung bezeichnen

ξ'_m das mittlere Verlustprozent durch den Wärmeübergang während des Verbrennungs- und Ausdehnungshubes,

$\xi_{1(e')}$ den Verlustprozent durch den Wärmeübergang für den ganzen Verbrennungs- und Ausdehnungshub,

p_i den mittleren indizierten Druck in kg/cm².

Der Verbrennungsgütefaktor steht mit der Ausbildung der Zerstäubungsorgane der Maschine und den Parametern, die die Zerstäubungsqualität bedingen in direkter Abhängigkeit. Diese läßt sich aber nicht in algebraischer Form ausdrücken. Es läßt sich eine Abnahme des Einflusses der Verbrennungsunvollkommenheit mit der Drehzahl und Belastungszunahme feststellen Um die Verbrennungsgüte schätzen zu können, wurde sie mit dem Brennstoffteilchenhalb-

messer in Zusammenhang gebracht, wobei es sich feststellte, daß, je feiner die Zerstäubung, desto größer der während der sichtbaren Verbrennung der Anteil an ausgelöster Wärme und desto kleiner das mittlere Wärmeverlustprozent durch Unvollkommenheit der Umwandlung der chemischen Energie ist.

Es wurde weiter eine Diagrammreihe aufgestellt, aus der Abb. 28 ausgegriffen ist, und für $n = 200$ U/min die Ermäßigung der Energieausnutzung im Zylinder durch die Wärmeübergangs- und Nachbrennverluste bis zu den Versuchswerten in Abhängigkeit von der Belastung charakterisiert. Außerdem zeigt das Diagramm die Verbesserungs-

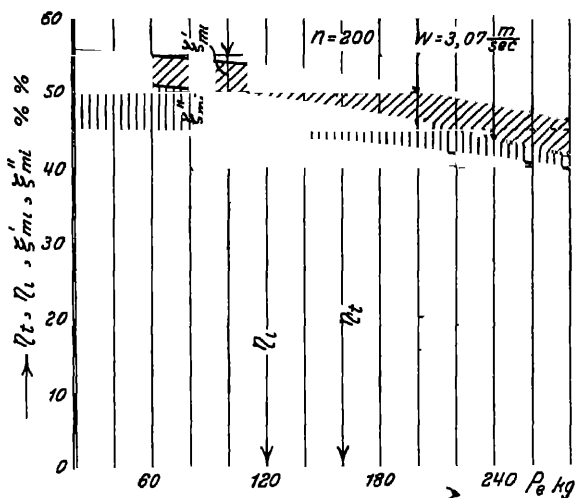



Abb 28. Einwirkung der Verbrennungs- und Wärmeübergangsverluste auf die Energieausnutzung im Zylinder.

η_i = indizierter thermischer Wirkungsgrad, η_t = theoretischer thermischer Wirkungsgrad

möglichkeit des indizierten thermischen Wirkungsgrades durch Verbesserung der Verbrennungsgüte bei gewähltem Verdichtungsgrade an.

Der Wärmeübergangseinfluß auf den Gütegrad kann für die untersuchte Maschine durch die empyrische Gleichung

$$\xi'_m = \frac{26{,}8}{w^{0{,}406}} - 8 - 0{,}61\,(p_i - 3)\,, \tag{10}$$

welche das mittlere Verlustprozent für den ganzen Verbrennungs- und Ausdehnungshub in Abhängigkeit von der mittleren Kolbengeschwindigkeit w und dem mittleren indizierten Druck p_i setzt, ausgedrückt werden.

Die durch diese Gleichung bestimmten ξ'_m-Werte sind in Abb. 29 durch Kurven angegeben und können für die Berechnung der Wärmeübergangsverluste in Prozenten des möglichen thermischen Wirkungsgrades für geometrisch ähnliche Maschinen benutzt werden. Es müssen aber

die mittleren Kolbengeschwindigkeiten und Kolbendrücke mit denen der Kurven in Einklang gebracht werden.

Zahlentafel II enthalt die für die obenerwahnten Versuchsreihen an drei Dieselmotoren großerer und kleinerer Abmessungen als die der von uns untersuchten Maschine errechnete Werte. Die Berechnungen bestätigen die Richtigkeit der Wärmeübergangseinflußwertung durch Erniedrigung des theoretischen thermischen Wirkungsgrades.

Weiter wurde das Verfahren für die Bestimmung des Einflusses des Warmeuberganges auf den indizierten thermischen Wirkungsgrad, d. h. für die Bestimmung von ξ'_{mi} fur Maschinen beliebiger Große und Drehzahl erörtert.

Abb. 29. Mittleres Wärmeubergangsprozent während des Verbrennungs- und Ausdehnungshubes als Funktion der Umlaufzahl und Kolbengeschwindigkeit

Für den Verbrennungsguteeinfluß auf die Erniedrigung des thermischen Wirkungsgrades wurde vorgeschlagen, denselben im bestimmten Prozentanteil zu den Warmeübergangsverlusten ξ''_m anzunehmen. Fur die untersuchte Maschine sind die entsprechenden Werte in Zahlentafel III zusammengestellt Eine gesetzmaßige Abhangigkeit ließ sich nicht aufstellen, da dieser Verlust mit der Zerstauberkonstruktion in engem Zusammenhange steht Es kann aber auf eine Verschlechterung der Verbrennungsgüte mit der Abmessungsvergrößerung bei gleicher mittlerer Kolbengeschwindigkeit hingewiesen werden, was in Abb 30 zum Ausdruck kommt.

Die Grundgleichungen für die Berechnung des Warmeverbrauches und des indizierten mittleren Kolbendruckes sind früher von uns veröffentlicht worden[7, 8].

[7] Verbrennungskraftmaschinen Prof. Dr-Ing *N Briling*
[8] Theoretische Berechnung von Flugzeugmotoren. Prof. Dr.-Ing. *N. Briling.*

Zahlentafel II

Versuche von		Münzinger				Nägel				Stauß				
Maschine erlaubt durch		MAN				MAN				Guldner				
Effektive Normalleist PS	Ne	15				70				2×150				
Zylinderdurchmesser mm	d	215				400				535				
Kolbenhub . mm	S	340				600				780				
Mittl. Kolbengeschwindigkeit . m/s	w_m	2,66				3,4				3,9				
Mittl indizierter Kolbendruck . . . kg/cm²	P_i	3,7	5,83	6,88	7,55	2,8	4,29	5,76	6,87	2,68	3,81	5,09	6,46	7,14
Totaler Warmeubergang cal/h	Q'	2780	5700	7405	8620	6845	11925	18980	24740	23720	36280	56260	81830	96390
Brennstoffwarme cal/s	Q'_{Br}	16800	28300	34000	40600	50600	81500	110000	140500	217000	312000	419000	543000	611000
Verlustprozent durch Warmeubergang fur den ganzen Verbrennungs- und Ausdehnungshub	$\xi_{(e')}$	11,75	14,30	15,50	15,05	9,60	10,35	12,20	12,50	7,76	8,25	9,55	10,68	11,20
Mittlerer Verlustprozent durch Warmeubergang	ξ'_m	8,06	9,44	10,0	9,65	6,68	7,04	8,08	8,10	5,41	5,65	6,38	6,97	7,20
Indizierter thermischer Wirkungsgrad %	η_i	43,6	40,6	39,4	36,4	48,3	46,2	46,0	42,7	43,5	43,5	43,5	42,5	41,9
Theoretischer thermisch Wirkungsgrad . . %	η_t	58,2	48,0	46,6	44,3	57,7	54,9	52,6	50,6	57,3	55,6	53,5	51,2	50,0
Gutegrad . %	η_g	83,5	84,6	84,5	82,1	83,6	84,2	87,5	84,5	76,0	78,2	81,3	83,0	83,8
Mittlerer Verlustprozent, bezogen auf den indiz therm. Wirkungsgrad.	ξ'_{mi}	4,21	4,53	4,66	4,26	3,86	3,86	4,52	4,10	3,10	3,14	3,41	3,57	3,60

Zahlentafel III

Belastungsstufe	Bremshebellast P_e kg	Drehzahl n U/min 50	100	200
1/4	60	74,0%	120,0%	163,0%
2/4	120	71,30%	99,50%	125,0%
3/4	180	65,20%	80,50%	88,5%
4/4	240	57,70%	64,50%	56,0%

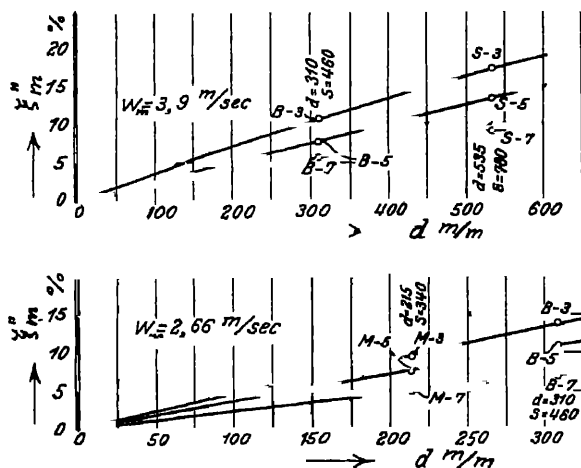



Abb. 30. Verlustprozent durch Nachbrennen.

Résumé

Les recherches donnent une caractéristique thermodynamique très complète du cycle thermique des Diesels à compresseur, et permettent de déterminer des valeurs exactes des coëfficients pour le calcul thermique des machines.

Nr. 193

Österreich

Vereinigte Brennkraft- und Dampfkraftmaschine

Österreichisches Nationalkomitee

Dr. F. Merkl

Gesichtspunkte bei der Wahl des die Abfallwärme umsetzenden Stoffes

Das Bestreben, die Abfallwärme der Brennkraftmaschine möglichst vollkommen zur Krafterzeugung auszunutzen, reicht in das letzte Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts zurück und läuft auf das Suchen eines gasförmigen — oder zumindest in seinem arbeitleistenden Endzustand gasförmigen bzw. dampfförmigen Stoffes hinaus, welcher — die Brennkraftmaschine gleichzeitig kühlend — die Abfallwärme aufnimmt, dadurch sein Volumen vergrößert und sodann in einer zweiten Maschine mechanische Arbeit leistet, ähnlich wie dies bei dem Hintermotor einer Kaskade in der Elektrotechnik der Fall ist. Alsbald tauchten auch Vorschläge auf, diesen Stoff in derselben Maschine wirken zu lassen, um der Brennkraftmaschine noch eine weitere Kühlung durch Ausdehnung des arbeitsleistenden Gases angedeihen zu lassen. Er sollte vor allem tunlichst den drei Bedingungen entsprechen: Billig, überall in großen Mengen zur Verfügung und ungiftig.

Umsetzung der Abfallwärme durch Luft

Vielleicht beeinflußt durch die Heißluftmaschine, welche den Technikern damals noch aussichtsreich erscheinen mochte, faßte man zunächst die Luft ins Auge, obwohl sie in dieser neuen Verwendung überdies noch die Rolle eines Kühlmittels zu übernehmen hatte, wofür sie zufolge ihrer, unter den gangbarsten Gasen und Dämpfen, ungefähr kleinsten Wärmeaufnahmefähigkeit von $c_p = 0{,}237$ an sich wenig geeignet ist. Die Wärmeabfuhr erfordert daher eine beträchtliche Luftmenge und diese ihrerseits eine große, also kostspielige Maschine. Mit der niedrigen Wärmeleitungszahl $\lambda = 0{,}019$ hängt ferner eine träge Wärmeübertragung zusammen, die nebst rascher Strömung (Verwirbelung) auch große Heizflächen verlangt, wodurch gleichfalls Mehrkosten der Anlage bedingt sind. Deshalb wurde mehrfach die Mischung der Luft mit den Auspuffgasen angeregt. Hierdurch wird aber der Betriebsdruck des Hintermotors auf einen geringen, nur in Sonderfällen vorteilhaft anwendbaren — im allgemeinen unwirtschaftlichen Betrag herabgesetzt.

Umsetzung der Abfallwärme durch Dampf

Erst zu Anfang dieses Jahrhunderts drang die Erkenntnis durch, daß das Wasser bzw. der daraus entstehende Dampf der geeignetste Vermittler bei der Kraftgewinnung aus der Abfallwarme sei, weil es unter allen Stoffen die größte Warmeaufnahmefahigkeit besitzt und auch die Warmeaufnahmefahigkeit des aus ihm entstehenden Dampfes $c_p = 0{,}48$ (nach *Knoblauch* und *Jakob* sogar wesentlich größer) großer ist, also jene der Luft um mehr als das Doppelte ubertrifft. Auch ließ die Warmeleitungszahl $\lambda = 0{,}5$, da sie 26 mal größer ist als jene der Luft, eine genügend rasche Warmeaufnahme erwarten Die bedeutend großere Kuhlwirkung durch Hinzutreten der Bindung der inneren Verdampfungswarme wirkte zunachst offenbar weniger aneifernd, denn die damals verwendeten Hochstdrücke von 15 atu ergaben einen verhaltnismaßig so hohen Betrag an innerer — für die Krafterzeugung wertloser Verdampfungswarme, daß das Augenmerk der Praktiker fast ausschließlich darauf gerichtet war, aus der Not eine Tugend — und die Abfallwarme Heizzwecken dienstbar zu machen. Überall, wo danach ständiger Bedarf besteht, bildet dies auch heute noch eine zweckmaßige Lösung.

Die Steigerung der Festigkeit des Eisens bei hoheren Temperaturen und nicht minder jene der Widerstandsfähigkeit der Schmiermittel besserten die Aussichten für die Kraftgewinnung wesentlich. Wahrend die innere Verdampfungswarme nach *Mollier* bei 14,85 atu (Sattigungstemperatur 200° C) 417,3 kcal betragt, sind es bei 99,7 atü (Sattigungstemperatur 310° C) nur mehr 271,8 kcal, also ein Wert, der mit Rücksicht auf die dem Öl beim reinen Dampfbetrieb derzeit schon zugemutete Temperatur als mäßig zu bezeichnen ist und welcher, wie spater gezeigt werden soll, auch im Hinblick auf die in Brennkraftmaschinen verfügbare Temperatur und Abfallwarme wohl noch etwas überboten werden könnte. Der letztgenannte Betrag bedeutet schon bei einer reinen Dampfanlage, wo er auf die gesamte zugefuhrte Energie zu beziehen ist, einen erheblichen Vorteil, fallt daher bei der Vereinigung einer Brennkraft- und Dampfmaschine, wo er sich auf die Abfallwarme bezieht, also einen Verlust vom Verlust darstellt, noch weniger ins Gewicht.

Den ersten folgerichtigen Weg betrat schon *Still*[1]. Die Patentschriften zeigen die Erkenntnis, daß die Verbrennungsgase und der durch Abfallwarme erzeugte Wasserdampf nicht in demselben Arbeitsraum, wohl aber auf verschiedenen Kolbenseiten desselben doppelt wirkenden Zylinders zur Wirkung gelangen müssen. Ein weiterer Schritt nach vorwarts war es, daß die Dampfbildung unmittelbar in dem zu einem regelrechten Dampfkessel vergroßerten, auch den Auspufftopf enthaltenden Zylinderkühlmantel verlegt wird. Aber selbst wenn die Temperatur außerhalb des Zylinders noch zur Erzeugung hoher Dampfdrucke ausreichen wurde, stünde deren Ausnutzung ein praktisches Hindernis entgegen, weil die Maschine — oben durch den dickwandigen Kessel beschwert — bei Schwankungen gefahrdet ware, ganz abgesehen

[1] D R P Nr 323168, Priorität von 1910 und Nr 384890.

von der schwierigen Durchführung der Ventilkopfe. Daß aber, zum Teil vielleicht infolge der großen wärmeabgebenden Oberflache, außerhalb des Zylinders nicht mehr genügend Temperatur und Warme zur Verfügung steht, um die zur Kühlung ausreichende Wassermenge in Dampf von halbwegs wirtschaftlichem Druck uberzufuhren, scheint aus der Tatsache hervorzugehen, daß gemaß letztgenannter Patentschrift eine zusätzliche Ölheizung vorgesehen ist

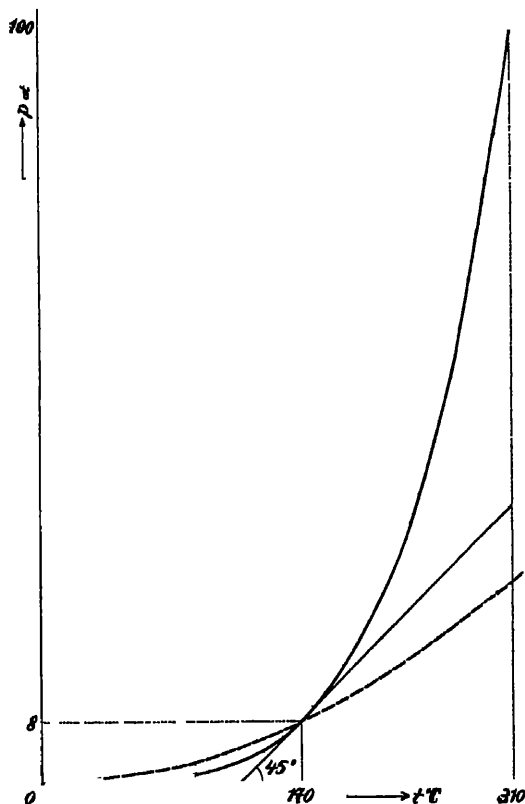



Abb 1 Druck-Temperatur-Kurve für gesättigten Wasserdampf

Da eine Dampfanlage bei Bedachtnahme auf hochste Wirtschaftlichkeit der Überhitzung nicht entraten kann, muß noch vermerkt werden, daß *Stills* Anordnung die hierzu notwendige rasche Dampfstromung langs der Zylinder- und Kolbenwand vermissen laßt.

Wahrend *Still* sowohl das Heißkuhl- als auch das Siedekuhlverfahren vorgesehen hatte, bildete *Semmler* ungefähr um dieselbe Zeit das erstere in Deutschland aus[2]. Demnach wurde das Wasser standig unter Druck im Kuhlmantel der Gas- und Dieselmaschinen bis 120° C erwärmt und in einen unter Atmospharendruck arbeitenden Speicher gedruckt, wo

[2] *Balcke*, Mitt Ver. Elektrizitätswerke 1921, Nr 301. D R P Nr 355 832 (Priorität 1915)

es so lange verdampfte, bis der Temperatur- und Warmeausgleich hergestellt war. Dieser Niederdruckdampf wurde dann zum Antrieb einer Abdampfturbine für 400 kW verwendet. Besonders hervorzuheben ist jedenfalls, daß die Heißkühlung schon damals zu keinerlei Betriebsstörung der Brennkraftmaschine Anlaß gab, welche sogar besser arbeitete als bei den niederen Ablauftemperaturen von 40 bis 60°, da keine Bildung von Dampfblasen eintreten konnte. Dadurch aber, daß der Dampf in einer anderen Maschine Arbeit leistete, ging der Brennkraftmaschine die Siedekühlung, sowie die Kühlung durch Ausdehnung des Dampfes verloren. Dies bedeutet bei Drücken uber 8 at gemäß der dargestellten Druck-Temperaturkurve für gesattigten Dampf (Abb 1) einen erheblichen Entgang, denn bei Ausnutzung beider Kühlungsarten konnte die Kühlwassermenge entsprechend verringert — daher die nun geringere Menge hoher erhitzt —, also zur Lieferung höhergespannten Dampfes befahigt werden. In dem Punkt, welcher dem genannten Druck — und der Sattigungstemperatur von 170° C entspricht, schließt nämlich die Tangente mit der Abszissenachse einen Winkel von 45° ein. Unterhalb dieses Berührungspunktes erscheint daher die Kraftgewinnung aus Abfallwärme wenig lohnend; oberhalb desselben wächst der Gewinn, bezogen auf den Aufwand, jäh an, und zwar bei Drücken, mit welchen die neuzeitige Dampftechnik gar nicht mehr vorlieb nimmt und — was noch wichtiger — bei Temperaturen, die heute als sehr mäßig gelten. Zum Vergleich ist durch den Berührungspunkt eine Parabel gelegt (dick strichliert). Der obere Verlauf der Sattigungs-Druck-Temperatur-Kurve zeigt, daß das uberhitzte Wasser bei steigender Temperatur einer verpuffenden Flussigkeit immer ahnlicher wird und noch ziemlich fern von der durch die Widerstandsfähigkeit der Baustoffe und Schmiermittel gezogenen Grenze eine Brisanz aufweist, welche jene der Treiböle bedeutend ubertrifft.

Es ist demnach erstrebenswert, das Kühlwasser auf dem Wege durch die einzelnen Kuhlräume der Brennkraftmaschine möglichst in der Reihenfolge deren aufsteigender Temperatur so hoch als möglich vorzuwärmen, also in bezug auf den im Zylinder vor Eintritt herrschenden Druck und die zugehörige Temperatur zu überhitzen und erst im Zylinder verdampfen zu lassen, um die Verdampfungswarme moglichst nahe am Ort der Verbrennung zu binden. Durch die stufenweise Vorwärmung läßt sich auch die Wärmeentwertung mildern, welche bei der reinen Dampfanlage durch den arbeitslosen Temperatursturz von der Temperatur der Feuergase auf jene des Speisewassers vor sich geht Hierbei treten von selbst an Stelle der weiten Dampfrohre enge, leicht gegen Wärmeverlust zu isolierende Wasserrohre, ferner ist es möglich, die Dampfsteuerung durch eine wesentlich kleinere und einfachere Einspritzpumpe zu ersetzen, so daß sich beispielsweise bei Verwendung flussigen Brennstoffes ein Dieselmotor ergeben würde, der an einem Zylinderende die ubliche Brennstoffpumpe — am anderen eine Wassereinspritzpumpe aufweisen wurde. Die Beschickung mit uberhitztem Wasser statt mit Dampf würde vielleicht nicht nur in diesem Fall, sondern auch bei reinen Dampfanlagen Vorteile bieten und unter

anderen eine Steigerung der Drehzahl zulassen. Die hohe Drehzahl verschlechtert nämlich auch den Wirkungsgrad dadurch, daß bei Unterbemessung der Ventile Drosselung — bei Überbemessung Nachströmen auftritt, was bei Einspritzung nicht vorkäme. Die Überhitzung des Wassers erfordert kleinere Heizflächen und Temperaturgefälle als jene des Dampfes, nachdem sich der Wärmeübergang vom Metall auf Wasser vollkommener vollzieht als jener vom Metall auf Dampf.

Heißkühlung und Siedekühlung bei gleichzeitiger Steigerung der Verbrennungstemperatur

Nachfolgend wird eine Anordnung gemäß den vorstehend gewonnenen Gesichtspunkten vorgeschlagen mit dem Bemerken, daß es sich lediglich um konstruktive Vorschläge handelt, nachdem eine Vorausberechnung im Hinblick auf die später fallweise zu erwähnenden mehrfachen Unbekannten schwerlich danach angetan wäre, wissenschaftliches Vertrauen zu erwecken, bevor nicht zumindest die Beschaffenheit einzelner Baustoffe festgesetzt ist.

Abb. 2 zeigt schematisch im Aufriß und Schnitt beispielsweise einen Zweitakt-Dieselmotor. Der Einfachheit halber ist der Kondensator als Autokühler 3 gekühlt durch den Ventilator *75* dargestellt. Aus dem Kondensator gelangt das Wasser auf ungefähr 50° C herabgekühlt in den auch außerhalb des Kurbelgehäuses anzuordnenden Kühlraum 2 für das Schmieröl, wo es sich auf beiläufig 70° erwärmen dürfte. Von dort aus wird es von der Druckpumpe 4 durch Rohr *34* in den inneren, die metallgepackte Stopfbuchse kühlenden, ringförmigen Raum *33* des unteren Zylinderdeckels *31* gedrückt, welcher der Pumpe 4 zugleich als Windkessel dienen kann und — den allgemein normal gestalteten hohlen Kolben *71* in dessen unterer Totlage möglichst ausfüllend — außen noch einen größeren Heizraum *36* aufweist. Letzterem werden die im Auspufftopf 55 bereits stark herabgekühlten Gase zwecks Heizung des Dampfes im unteren Teil der Ausdehnungskurve zugeführt. Entsprechend der bedeutend kleineren inneren Zylinderwand dieses Raumes steigt die Wassertemperatur in *33* nur ungefähr auf 100° C. Von hier aus gelangt das Wasser durch Rohr *35* in den Kühlraum *8* im dick gehaltenen Flansch des sonst voll gegossenen Zylinders. Dieser schlitzförmige Raum ist möglichst schmal ausgedreht, so daß die beträchtliche Strömungsgeschwindigkeit die große Kühlfläche der üblichen Ausführung nicht nur ersetzt, sondern den Wärmeübergang infolge stärkster Wirbelbildung bei geringstem Temperaturunterschied ermöglicht. Zudem können sich besonders an der unteren, dem Zylindermantel nächstliegenden Schlitzwand keine Dampfblasen oder Luftblasen ansetzen. Die vorzügliche Wärmeleitung des Metalls erstreckt in Verbindung mit der großen ausgleichend wirkenden Wärmeaufnahmefähigkeit der mit Rücksicht auf den hohen Dampfdruck ohnedies dicken Zylinderwand die Kühlwirkung jenes Schlitzes bis tief unter den eigentlichen Verbrennungsraum. Der Abschluß des Schlitzes erfolgt durch einen aufgepreßten und verstemmten einfachen Ring *7*, welcher zwecks Reinigung des Schlitzes leicht zu ersetzen ist. Der Austrittskanal *18*

17
22
15
19
7
18
8
20
59
58
5
57
35
55
20
63
21
3
11
33
35
75
36
56
31
34
34
2
4

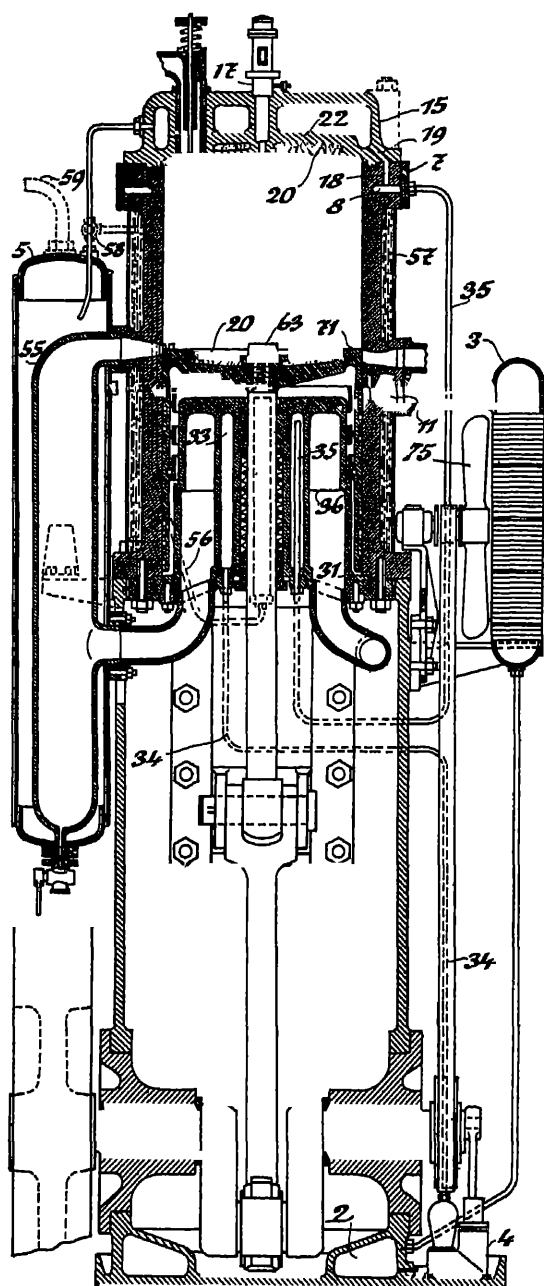



Abb. 2.

ist gegen die Mündung des Rohres *35* ein wenig versetzt, so daß eine zwischen beiden eingesetzte Trennungswand das Wasser zum vollen Kreislauf zwingt. Auf etwa 160° C erwärmt, tritt nun das Wasser durch die Kanale *18* und *19* in den Kühlraum des oberen Zylinderdeckels *15*, dessen oberer Teil zweckmaßig einen Luftpolster erhält, welcher Stöße abfangt und gleichzeitig der Warmeisolierung des eingeschlossenen Wassers dient. Hier erfolgt der Wechsel des Wassers sehr langsam, so daß dessen Temperatur mindestens auf 220° C gesteigert werden kann, wenn man im Zylinder auch nur eine mittlere Temperatur von 700° C annimmt. Dies ist heute ohne weiters tunlich, wenn sich im Mantel des geschmierten Zylinders gemaß dem vorerwahnten Aufsatz bereits vor dem Jahre 1921 eine Temperatur von 120° C als betriebssicher erwies. An der dem Verbrennungsraum zugekehrten Deckelfläche wäre also mit einer Durchschnittstemperatur von mindetsens 250° C (bei Viertaktmotoren mehr) — jedenfalls aber mit einer hoheren als bei der normalen Kaltkuhlung zu rechnen. Die höhere Temperatur eines so großen Teiles der Begrenzungsfläche des Verbrennungsraumes müßte aber eine hohere Verbrennungstemperatur zur Folge haben, ohne daß der Verdichtungsdruck erhoht wird.

Nachdem, wie später gezeigt werden wird, die großte Warmeabfuhr im Kolben erfolgt, dessen Boden ausschließlich der Dampfuberhitzung dient, hat er zweckmaßig einen Teil der Wärme vom Zylinderdeckel durch Wärmestrahlung zu übernehmen, welche bei 500° ungefähr die Halfte der gesamt abgegebenen Warme ausmacht. Hierbei wird die geschmierte Zylinderflache nicht getroffen, weil die Deckelfläche nach oben gewölbt ist und die Warmestrahlung senkrecht zur strahlenden Flache erfolgt. Diese Wärmeübertragung kann durch einen künstlichen Wärmestau in der Deckelwand *22*, namlich durch schlecht leitende porose Gußkerne *20* noch erhöht werden, die im Eisen verbleiben. Um nämlich zu verhindern, daß sich die darübergelagerte dunne Metallschicht bei der zu gewärtigenden dunklen Rotglut nach unten ausbiegt, muß für einen standigen außeren Überdruck gegenüber jenem in den Poren der Kerne *20* gesorgt werden. Die dünne Metallschicht wird deshalb an mehreren Stellen bis zu diesen Gußkernen durchbohrt und der ganze Deckel in einem Ofen so lange einer die obige Betriebstemperatur übersteigenden Hitze ausgesetzt, bis die letzterer entsprechende Luftverdunnung in den Gußkernen eingetreten ist, worauf die Bohrungen zugeschweißt werden. Zweckmaßig hätte auch der Zylinderdeckel und der Kuhlmantel *5* des Auspufftopfes außen eine Warmeisolierung zu erhalten, ähnlich der den Zylindermantel umgebenden *57*. Die Steigerung der Verbrennungstemperatur, welche bereits *Diesel* angestrebt hat, jedoch offenbar wegen der Unzulanglichkeit der damaligen Schmiermittel und Baustoffe nicht durchfuhren konnte, verspricht zufolge der Druck-Temperatur-Kurve oberhalb des Dampfdruckes von 8 at auf der Dampfseite mittelbar einen großeren Kraftgewinn als der unmittelbare Gewinn auf der Verbrennungsseite betragt.

Obwohl der Zylinderdeckel der großten Hitze ausgesetzt ist, demnach folgerichtig den Überhitzungsweg vor der Einspritzpumpe be-

schließen sollte, wird das Wasser in den Kühlmantel *5* des Auspufftopfes geleitet, weil oft ein größerer Vorrat von Heißwasser nützlich ist. Hierdurch wäre beispielsweise bei Beaufschlagung auf Volldruck eine zeitweise Überlastung denkbar, wie sie bei der reinen Brennkraftmaschine kaum zu erreichen ist. In diesem Raum erscheint im Hinblick auf den langen Verbleib des Wassers sowie auf die Tatsache, daß die Auspuffgase den Zylinder mit etwa 430° C verlassen, eine Endtemperatur des Wassers von 240° C durchaus erreichbar. Aus diesem Raum gelangt das Wasser durch Rohr *56* zu der im unteren

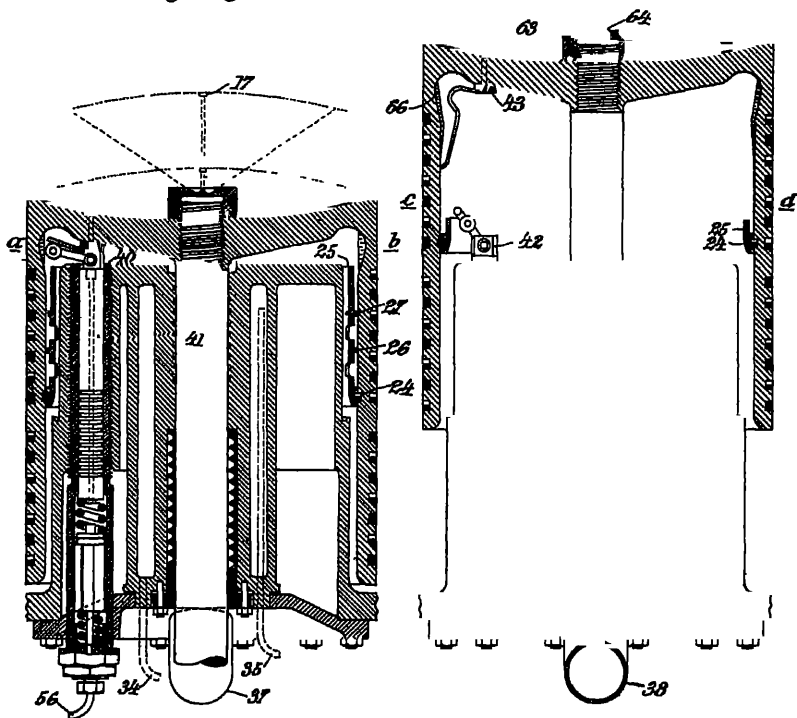



Abb. 3

Zylinderdeckel eingeschraubten — durch den Anschlag *43* am Maschinenkolben betätigten Einspritzpumpe *40* (Abb. 3—6), deren Hub und Fördermenge daher durch Höher- oder Tieferschrauben des Pumpenzylinders dem Wasserbedarf angepaßt werden kann Der lange Tauchkolben *41* ist lediglich durch Einschleifen und Labyrinthnuten gedichtet dargestellt. Nebenbei bemerkt ist das Saugventil *48* als gefederte Flüssigkeitsbremse mit Trägheitsmasse ausgebildet, um das Wasser bei Abnahme der Drehzahl zum Teil zurückströmen zu lassen. Die durchlaufende zentrische Bohrung im Tauchkolben endigt oben in einem Vierkant *42*, der einem Hahn *44* (Abb. 5) als Gehäuse dient. Der Stellhebel dieses Hahnes ist als zweifach gekrümmtes Rohr *45* ausgebildet

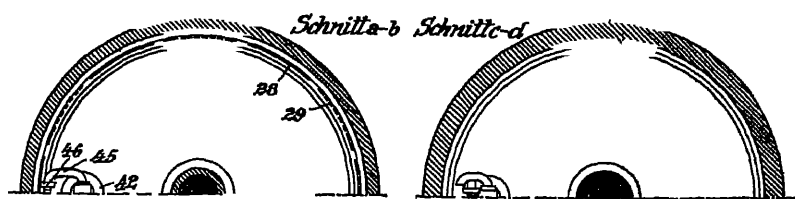



Abb. 4.

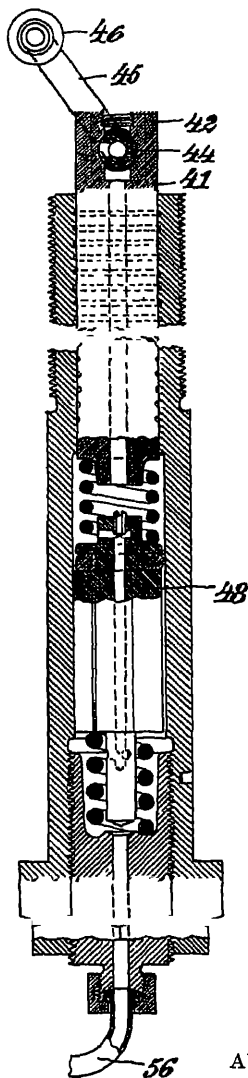



Abb. 5.

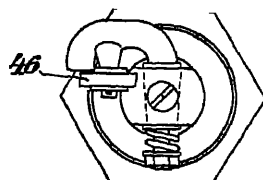
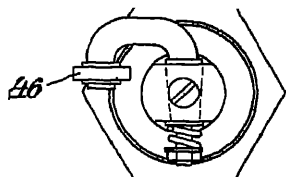
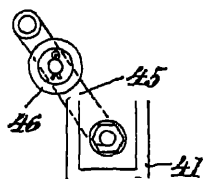



Abb. 6

und mit dem Röllchen *46* versehen, welches unmittelbar vor Beginn der Kolbenbewegung durch die linke Abschrägung des Anschlages *43* gegen die innere Ecke des Kolbens *71* abgelenkt wird und den Hahn öffnet, worauf bis zur Erreichung des Sattigungspunktes zunachst nur Wasser in den Zylinder gelangt Unmittelbar darauf trifft der Anschlag *43* den Tauchkolben selbst und spritzt den Rest der Beaufschlagung als Wasser mit großer Geschwindigkeit nahezu tangential an die Innenfläche des Maschinenkolbens. Die rasche Drehbewegung behält auch der sich weiter bildende Dampf bei und wird nach Verdampfung des Wassers unter Mithilfe der vom oberen Zylinderdeckel abgestrahlten Wärme wirksam uberhitzt

Abb. 3 zeigt links den unteren Zylinderdeckel und Kolben unmittelbar nach erfolgter Wassereinspritzung, rechts wahrend der beschleunigten Aufwartsbewegung. In der Ecke zwischen Kolbenboden und Kolbenmantel ist eine nach oben sanft kegelformig erweiterte Ausdrehung *66* vorgesehen, welche den Kolben, soweit dies aus Festigkeitsgründen zulassig, thermisch in zwei Teile teilt, nämlich in den zuerst als Heizfläche und nach erfolgter Verdampfung auch noch als Überhitzerfläche wirkenden Kolbenmantel, dessen Temperatur möglichst niedrig bleiben soll, und in den Kolbenboden, welcher ausschließlich mit Dampf in Berührung kommt und ausschließlich als Überhitzer wirkt, folglich höhere Temperaturen aufweisen soll. Hierdurch wird zugleich eine ubermaßige Abkühlung des Verbrennungsvorganges vermieden, die beispielsweise bei Einspritzung fein zerstäubten Wassers unvermeidlich wäre, ganz abgesehen davon, daß die kleinen Wassertröpfchen großenteils unverdampft abprallen — oder vom entstehenden Dampf abgedrängt würden. Das an die Kegelflache *66* gespritzte Wasser wird längs derselben rasch kreisend und die Wärme ebenso aufnehmend durch die Fliehkraft in die Ecke gedrängt und zunächst am Herabsinken gehindert, um so mehr, als sich der Maschinenkolben bis zum Ende der Wassereinspritzung noch in der Richtung der Schwerkraft bewegt. Der kreisende Wasserring kuhlt kraftigst das gefährdetste obere Ende der Kolbenlaufflache bei allmählicher Verdampfung und gleitet erst dann langs des Kolbenmantels herab, wenn dessen beschleunigte Aufwartsbewegung einsetzt, um sich seinen Ausgangspunkt in der Kolbenecke erst wieder bei Eintritt der Kolbenverzögerung zu nahern, so daß der obere Teil des Mantels am langsten vom Wasser benetzt wird Naturlich ubernimmt dieses Wasser durch Leitung auch etwas Warme aus dem Rand des Kolbenbodens. Die Geschwindigkeit der Warmeubertragung und Verdampfung ist selbst hohen Drehzahlen gewachsen, denn die rasche Drehung schafft besten Warmeubergang, wahrend die Fliehkraft des Wassers die wärmeisolierenden Dampfblasen sofort nach außen befordert. Aus denselben Grunden genügt auch ein geringerer Temperaturunterschied zwischen Eisen und Wasser, so daß dessen Temperatur im Kolben zu Beginn des Arbeitshubes mit 310° C entsprechend 100 at angenommen werden kann, weil dem Kolben, abgesehen von seiner Beruhrung mit Gasen von einer Durchschnittstemperatur von 700° C (bei Gasmaschinen entsprechend weniger)

mindestens die Hälfte seiner Reibungswärme, allenfalls noch Wärme von der Zylinderwand — und überdies die vom Deckel gestrahlte Wärme hierfür zur Verfügung steht. Der Dampfteil arbeitet als Gleichstrommaschine. Der Dampf strömt aus, sobald der untere Rand des Kolbens den Auspuffschlitz *11* überschleift.

Sofern sich die Dampfspannung tatsächlich höher ergeben würde als jene der Verbrennungsgase, würden zwei weitere Vorteile erreicht, nämlich die Verhinderung, jedenfalls aber Minderung der Lässigkeit von der Verbrennungsseite auf die Dampfseite mit ihren üblen chemischen Begleiterscheinungen, sodann auch eine Vergrößerung der wärmeausgleichenden Zylindermasse sowie des wärmeleitenden Querschnitts der Zylinderwand, welche diesfalls die Wärme nicht bloß senkrecht zur Lauffläche, sondern auch nach oben und unten längs der Zylinderachse fortleitet. In dem Maße, als der aufsteigende Kolben die Zylinderwand freigibt, strömt nämlich die Wärme von der Vrebrennungsseite dem sich ausdehnenden Dampf zu.

Bei ortsfesten Maschinen dürfte die Fliehkraft vollauf ausreichen, um das Haften des Wasserringes, solange es sich noch nicht selbst zu einer entsprechend dünnen Schicht am Kolbenmantel verteilt hat, am letzteren zu sichern.

Als untere Begrenzung der Wasserbenetzung genügt eine niedrige Rinne, welche gemäß der rechten Abb. 3 durch einen mittels federnden Sprengringes *24* befestigten Ring *25* gebildet ist. Das Wasser verteilt sich infolge Überwiegens der Massenträgheit bereits am Kolbenmantel. Bei stark schwankenden Fahrzeugmotoren könnte sich indessen die Notwendigkeit ergeben, das Wasser unmittelbar unter der Erweiterung *66* in eine dünne Schicht zu verteilen. Dies ist gemäß Abb. 3 links durch einen höheren Ring *25* zu erreichen, dessen Bunde *26* und *27* entweder mit dem Kolbenmantel einen schmalen, ringförmigen Spalt bilden oder anliegen und das Wasser lediglich durch flache Nuten *28* und *29* am Umfang durchlassen. Das eben eingespritzte Wasser kreist in der Kolbenecke. Der Ring erhält große Öffnungen, damit der mitunter stürmisch sich bildende Dampf genügend rasch entweichen kann. Die Verdampfung im Siedeverzug bietet die Möglichkeit, die erforderliche Kühlwirkung unter Preisgabe weniger at unter allen Umständen zu erzwingen, indem die obere Kante des Dampf-Auspuffschlitzes ausgefeilt — und die Einspritzmenge so groß bemessen wird, daß beim Öffnen noch unverdampftes Wasser vorhanden ist. Ein ähnlicher Fall würde vorliegen, wenn die Beschickung auf Volldruck eingestellt wird, um eine hohe Überlastung herauszuholen, wie sie bei dem reinen Verbrennungsmotor schwerlich zu erreichen ist. Diese Vorteile rechtfertigen allein schon die Abarbeitung zumindest des oberen Großteils des Wärmegefälles in einer einzigen Maschine, wobei es natürlich bei hohen Dampfdrücken und Leistungen meist notwendig wäre, eine Abdampfturbine nachzuschalten, welche überdies auch dazu taugt, um Dampf aus einem Speicher allenfalls selbständig zu verarbeiten.

Bei Aufsteigen des Kolbens drückt die Oberkante des Ringes *25* oder ein U-förmiger Bügel am Anschlag *43* das Röllchen *46* wieder in die

Abschlußstellung. Die Betätigung des Hahnes erfolgt verhältnismäßig langsam, weil in der Nähe des Totpunkts. Dennoch müßte einer Beschädigung dieses allerdings schwer zugänglichen Bestandteils durch reichliche Bemessung und Verwendung vorzüglichen Baustoffes vorgebeugt werden. Die Einspritzpumpe könnte nämlich wohl an eine zugänglichere Stelle verlegt — und etwa vom Kreuzkopf betätigt werden, doch würden dort große Wärmeverluste durch die nicht ganz zu vermeidende Undichtheit der Pumpe auftreten, während solche Wasserverluste bei der gezeichneten Anordnung zur Beaufschlagung zählen.

Die Abstufung der Temperaturen in jedem Kühlraum der Maschine ist leicht regelbar, wenn im Nebenschluß zu demselben ein Rohr mit Drosselhahn gelegt wird. Das Wasser für die Einspritzpumpe kann auch irgendwo vor dem Kühlmantel des Auspufftopfes, etwa bei dem Dreiweghahn *58*, abgezweigt werden, wenn es sich beispielsweise darum handelt, dem Kühlmantel durch Rohr *59* möglichst viel Dampf für den Antrieb einer angebauten umsteuerbaren Dampfmaschine zu entnehmen.

Zusammenfassend ist schließlich zur Kühlung der geschmierten Teile dieser Maschine zu bemerken, daß dieselbe erstens vom Wasserschlitz im oberen Zylinderflansch, zweitens durch Abströmen der Wärme zum arbeitsleistenden Dampf und drittens durch Verdampfung im Kolben gekühlt werden. Natürlich vermag keiner dieser Kühlvorgänge für sich allein so viel Wärme abzuführen als die bisher übliche Kaltwasserkühlung; wohl aber alle drei zusammen im Verein mit der ausgleichenden Wärmeaufnahmefähigkeit des massigen Zylinders. Der Vorgang beinhaltet bis zu einem gewissen Grade eine selbsttätige Sicherung der Maschine. Laufen beispielsweise die Kolben und Stopfbüchsen infolge Ölmangels heiß, erwärmt sich das Wasser stärker, und die Dampfleistung steigt, worauf der Regler die Brennstoffzufuhr — somit durch Drosselung der größten Wärmequelle die Wassertemperatur — herabsetzt, ganz abgesehen davon, daß eine solche Störung bei Einbau von Thermometern rechtzeitig zu finden ist.

Die vorgeschlagene Arbeitsweise schließt die Anwendung des Viertaktsystems keineswegs aus, nur sind die beiden auf je vier Takte entfallenden Dampfhübe ungleich kräftig. Dem Auspuffhub entspricht vermöge des Wärmevorrates des vorangegangenen Verbrennungshubes ein Hochdruckdiagramm auf der Dampfseite, während zur Zeit des Verdichtungshubes ein niedrigeres Dampfdiagramm zustande kommt.

Die Vereinigung einer Brennkraft- und Dampfkraftmaschine würde weniger Wasser benötigen als jeder der beiden Maschinenteile (bezogen auf die gemeinsame Leistung). Daher dürfte der an Stelle des Rückkühlers tretende Kondensator billiger ausfallen und weniger Raum erfordern als der Rückkühler.

Verdichtungsdruck und Zündung

Ein Nachteil der vorgeschlagenen Anordnung ist unter anderem nicht zu übersehen, nämlich das geringere angesaugte Luftgewicht als Folge

der hoheren Wandtemperatur des Verbrennungsraumes. Ihm ist jedoch ein Minderbedarf an Verdichtungsleistung gegenuberzustellen, herruhrend davon, daß die beim Einsaugen bereits vorgewarmte Luft weniger Verdichtung verlangt, um die bisher gebräuchliche Temperatur zu erreichen. Begnügt man sich demnach mit der letzteren, so kommt einerseits von der Nutzleistung weniger in Abzug, andererseits wird die Maschine leichter, nachdem ein leichteres Schwungrad ausreicht.

Bei Ölmaschinen laßt sich uberdies die hohe Deckeltemperatur durch kunstlichen Warmestau moglicherweise noch weitergehend ausnutzen, indem teilweise auf die Wirkungsweise der Gluhkopfzündung zuruckgegriffen wird. Inmitten des Kolbenbodens Abb. 3 ist ein flacher Metallzylinder *63* aufgesetzt. Aus dessen Mitte ragt genau unter der Brennstoffdüse *17* eine Spitze hervor, die nach unten zu in eine glatt polierte ringförmige Mulde *64* ubergeht, deren Außenfläche gegen die Waagrechte schwach kegelformig geneigt ist. Der Ölstrahl, welcher vermoge eines in der Düsenmündung zentrisch angebrachten Bolzens rohrförmig und zufolge der hohen Deckeltemperatur schon ziemlich dunnflussig austritt, wird in der Mulde *64* noch weiter erhitzt, durch dieselbe als Strahlenbundel in Form eines flachen Kegelmantels schräg nach aufwarts gegen den heißen Zylinderdeckel gelenkt und dortselbst infolge der gleichzeitigen Aufwartsbewegung der ablenkenden Mulde auf der großen Deckelfläche in einer sehr dünnen, sogleich verdampfenden und verbrennenden Schicht verteilt (soweit das Öl auf der nahezu den ganzen Luftraum durchsetzenden Flugbahn nicht schon verbrannt ist), während vom Deckel etwa noch abprallende Tropfchen am Luftweg zum Kolben mit ziemlicher Sicherheit verbrennen. Die vom Deckel zum Kolben strahlende Warme dürfte die Verdampfung gleichfalls fördern.

Das teilweise Zuruckgreifen auf die Gluhkopfzündung erscheint deshalb gerechtfertigt, weil im vorliegenden Sonderfall die hohe, nicht wenig Leistung verzehrende und schwere Schwungrader erfordernde Luftverdichtung des normalen Dieselmotors fur den Wirkungsgrad nicht notwendig wäre, indem fur die hohe Verbrennungstemperatur allein schon durch den Wärmestau und die allgemein hohere Wandtemperatur gesorgt ist. Das Anwendungsgebiet würde sich allerdings auf ortsfeste, stundenlang ununterbrochen laufende Maschinen beschranken, die mit einem leichteren Zundol angelassen wurden. Auch kame diese Art der Zündung nur bei allergrößten Zylinderabmessungen in Betracht, wo die an der umlenkenden Mulde haftenbleibende Ölmenge im Vergleich mit der gesamten je Hub eingespritzten klein ist.

Hingegen würden sich bei Benutzung einer größeren, steiler geranderten umlenkenden Mulde vielleicht nicht ungunstige Verhaltnisse für die Verarbeitung von Kohlenstaub ergeben, welcher gemaß der vorgeschlagenen Führung des Brennstoffes (samt Einblaseluft) zumindest daran gehindert werden könnte, unverbrannt an die geschmierte Lauffläche zu gelangen. Deshalb sind die Einlagen *20* auch im Kolbenboden gezeichnet, wo sie sonst nichts zu suchen hätten

Brennstoffausnutzung

Einer Berechnung des Gesamtwirkungsgrades, welche auch nur halbwegs Anspruch auf Genauigkeit erheben durfte, stellen sich vor Durchführung eines Versuches kaum zu überwindende Schwierigkeiten in den Weg. Ein Fehler in der Annahme der Verbrennungstemperatur beeinflußt das Ergebnis auf der Dampfseite anscheinend noch erheblich stärker als auf der Verbrennungsseite. Die Verbrennungstemperatur würde aber sehr wesentlich von der Stauwirkung der Gußkerne *20* und diese wiederum von der Wärmeleitungszahl des verwendeten Stoffes abhangig. Man kann, bevor nicht über letzteren nach den verschiedenen, einander zum Teil entgegenstehenden Forderungen entschieden ist, nur mutmaßen, daß sie zwischen jener fur Quarzsand (0,047) und jener für gebrannten Ton (0,7), also zwischen zwei sehr verschiedenen Werten liegen dürfte. Aber auch der vom Zylinderdeckel am Kolbenboden tatsächlich gestrahlte Warmebetrag wäre für den Gang der Rechnung von entscheidender Wichtigkeit. Was an Warme auf dem Wege verschluckt wird, erscheint schon deshalb rechnerisch nicht erfaßbar, weil die Wärmestrahlen am Anfang und gegen Ende des Hubes andere — sogar ihrem Aggregatzustand nach verschiedene Stoffe zu durchdringen haben und der Zeitpunkt der Umwandlung unsicher ist. Die quantitative Ermittlung sei daher auf folgende oberflachliche Schatzung beschränkt:

Großte Dieselmaschinen erreichen derzeit einen Gesamtwirkungsgrad von 35%, so daß die durch den Dampfprozeß noch teilweise ausnutzbaren Verluste 65% betragen. Ihnen entspricht bei 310° C Sättigungstemperatur die Summe der aus ihnen erzeugbaren Energie der Flüssigkeit und des Dampfes von 917,2 cal/kg nach den Tabellen von *Molher* Diese Zahl ist mit 0,78 zu multiplizieren, weil selbst mit den doppelt herabgekuhlten Auspuffgasen noch etwa 18% der verfugbaren Warme — und durch Warmeleitung und Warmestrahlung des vorzüglich isolierbaren Zylinders, Deckels, Auspufftopfes und der schmalen Wasserrohre rund 4% verlorengehen, so daß 715,42 cal verbleiben Die Zahl dividiert durch die für die Krafterzeugung unter allen Umständen verlorene innere Verdampfungswarme von 289,4 cal, zu welcher noch 50 cal wegen Herabkühlung des Kondensates von 100° C auf 50° hinzutreten, ergibt 2,1, so daß das 2,1tel, also 31% von 65%, abzuziehen ist, daher 34% ubrigbleiben. Nachdem die Reibungsverluste und ein Großteil der Pumpenarbeit im obigen Dieselwirkungsgrad bereits berucksichtigt sind, erscheint hierfur ein Abzug von 1% ausreichend, so daß 33% verbleiben. Addiert man diese Zahl zum obigen Dieselwirkungsgrad, ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad von etwa 68% und noch ein wenig daruber, falls die aus dem geheizten unteren Zylinderdeckel austretenden Auspuffgase zur Zwischenüberhitzung vor einer Abdampfturbine verwendet werden. Die Verbesserung des Wirkungsgrades durch Erhohung der Verbrennungstemperatur bzw. Verminderung des Verdichtungsdruckes ist jedoch nicht berücksichtigt, so daß obiger Wirkungsgrad auch bei reiner Krafterzeugung erreichbar erscheinen kann

Praktische Anwendung als Bindeglied zwischen Bergbau und Wasserkraft

Obwohl nach den vorstehenden Ausführungen und im Hinblick auf die neuzeitigen, weit höheren Dampftemperaturen standhaltenden Schmiermittel sowie auf die Möglichkeit, die kleine Oberfläche der fast einzig maßgebenden Wärmebehälter (Zylinder, Auspufftopf und Wasserrohre) gegen Wärmeverluste vorzüglich zu isolieren, vielleicht noch eine weitere Steigerung von Temperatur und Druck und damit ein Zuwachs der Ausbeute an mechanischer Arbeit möglich wäre, bleibt noch ein erklecklicher Rest von Verlustwärme übrig, der nur für Heizzwecke verwertbar ist.

Zunächst ist es der aus der Maschine bzw. Abdampfturbine auspuffende Dampf oder der vor der Turbine anzuzapfende Zwischendampf, allenfalls die im vorliegenden Fall allerdings schon stark herabgekühlten Auspuffgase. Eine selbständige Verwendung der letzteren erscheint daher nicht sonderlich lohnend, hingegen etwa das Heizen des Auspuffdampfes vor Eintritt in die Heizdampfleitung.

Unter Verzichtleistung auf einen Teil der gewinnbaren mechanischen Arbeit bietet sich ferner ein weiter Spielraum für den Anschluß einer Warmwasserheizung, indem das Wasser im Nebenschluß zu seinem Verlauf in der Maschine an verschiedenen Stellen der letzteren, also bei verschiedener (während des Betriebes wählbarer) Temperatur abgezweigt werden kann, z. B. zwischen dem Rohr *56* und dem Rohr *35* oder dem Kanal *8*. Der Verbrennungsraum wird dann zwar schwächer gekühlt, dafür erhält die Einspritzpumpe kälteres Wasser durch Mischung mit dem in der Heizleitung abgekühlten.

Eine ähnliche wichtige Anwendung ist die Wärmespeicherung bei Nacht zwecks Spitzendeckung in einem Heißwasserspeicher, der gleichzeitig durch überschüssige Wasserkraft elektrisch geheizt werden kann, sei es, daß der Speicher selbst in Nebenschluß zu dem Wasserverlauf in der Maschine gelegt wird, sei es, daß eine im erwähnten Heißwasserspeicher eingebaute Heizschlange jenen Nebenschluß bildet. In beiden Fällen würde die Entladung des Speichers zweckmäßig in die reichlich zu bemessende Abdampfturbine erfolgen.

Eine kurzzeitige, bedeutende Überlastbarkeit ergibt sich mit Hilfe des Dampfteiles ohne nennenswerte Mehrkosten und — was besonders wichtig ist — ohne Hinzutreten bewegter Maschinenteile, welche den Anlaß zu Betriebsstörungen vermehren würden, dadurch, daß der Kühlmantel *5* des Auspufftopfes vergrößert und die Veränderbarkeit der Lieferung der Einspritzpumpe *40* vorgesehen wird. Letzteres kann vom Regler etwa dadurch bewirkt werden, daß die Pumpen nicht entsprechend der Normallast, sondern entsprechend der Überlast bemessen werden und daß der Regler das Saugventil entgegen dem Druck der Federn *52* und *53* länger oder kürzer offen hält.

Die vorgeschlagene Vereinigung der Brennkraft- und Dampfmaschine würde vor allem die denkbar günstigste Ausnutzung billiger Braunkohlenbestände ermöglichen. Die Kohle wird an der Grube entgast bzw. auch vergast, in an sich schon zu wenigstens teilweiser Spitzen-

deckung geeigneten Gasdynamos in elektrische Energie umgesetzt und diese in entfernte Verbrauchsgebiete geleitet. Der bei der Entgasung anfallende Urteer wird bereits vielfach und durchaus erfolgreich zum Antrieb von Dieselmotoren verwendet. Er kann demnach als hochwertiger Brennstoff wirtschaftlich selbst in entfernte Verbrauchsknotenpunkte (Stadte) befördert und dort als zweifellos billigster Energiespeicher fur die kalte Jahreszeit gefahr- und verlustlos eingelagert werden. In jenen Verbrauchsknotenpunkten ware der Urteer sodann in gleichartigen Öl-Dampfdynamos zur Stromerzeugung zu verwerten, um den fur die Spitzenbelastung erforderlichen Mehraufwand an Fernleitungskupfer zu ersparen und je nach dem Temperaturbedarf Abdampf oder Heißwasser fur Heizzwecke abzugeben.

Besonders vorteilhaft wurde sich die praktische Anwendung dort gestalten, wo — wie beispielsweise in Österreich — neben den Braunkohlen uberwiegende Wasserkraftenergie vorhanden ist. Die Überschüsse der letzteren bei Nacht konnen zunachst an der Grube selbst in der Weise gespeichert werden, daß Wasser zersetzt — und mit dem gewonnenen Wasserstoff das Schwelgas zur Zeit der Spitzendeckung angereichert wird, statt daß sog. Wassergas erzeugt wird, dessen Bildung aus der Brennstoffwarme bestritten werden muß. Die Speicherung des verdichteten Wasserstoffes laßt sich mit verhaltnismaßig geringen Kosten weit in die kalte Jahreszeit hinein erstrecken. Der übrigbleibende Sauerstoff würde verflussigt ein sehr energisches Sprengmittel für den Bergbau abgeben. Die Gaskraftwerke hatten ihre Leistung im Sommer nur unbedeutend zu verringern, um das Bergwerk gleichmaßig zu beschaftigen.

Ferner ist die Destillation der Kohle bei niederer Temperatur (Schwelung) ein schwach endothermischer Vorgang, dessen geringer Warmebedarf gleichfalls mittels Wasserkraftelektrizitat gedeckt werden könnte.

Mit Braunkohlenteer gespeiste Dieselkraftwerke in den größten Verbrauchsknotenpunkten (Stadten) würden den Betrieb zweckmaßig ungefahr in folgender Weise führen: In der warmen Jahreszeit, in welcher nur einige Industrien mit Wärme zu beliefern sind, arbeiten die Dieselmaschinen mit geringer Beaufschlagung auf der Verbrennungsseite und Dampfseite je zwei auf eine Abdampfturbine; in der kalten Jahreszeit, also bei großem Warmebedarf und vermindertem Kraftbedarf mit voller Beaufschlagung auf beiden Seiten, und zwar tagsüber, wenn der Abfall in der Heizleitung groß ist, gegebenenfalls ohne Abdampfturbinen, wahrend der Lichtspitze hingegen mit Einsatz samtlicher Dampfturbinen unter Heranziehung eines allenfalls vorhandenen Heißwasserspeichers

Summary

The well known method proposed by *William Still* did not lead to satisfactory results, as the steam was generated outside the cylinder.

It is more advantageous to pass water under pressure and in a sequence of increasing temperatures through all the cooling compartments of the internal combustion engine, including the stuffing box at the steam side, the cooling slot

in the upper cylinder-flange, the cooling space in the upper cylinder-cover, the cooling jacket of exhaust box, and to spray same by means of a pump onto the inner piston-wall since, owing to superheating, the water assumes an explosive character (100 atmospheres at 310° C according to *Mollier's* steam chart) similar to fuel oil. Owing to the high velocity of flow, the cooling effect in the slot of the cylinder-flange is such that it extends over the entire zone of combustion. The rest of the heat passes down through the thick cylinder-wall to heat the steam, so that the cylinder needs no water jacket, though it is provided with heat-insulation In the hollow space of the cylinder-cover, which should be provided with similar heat-insulation, the cooling effect of the water is only very slight in view of the slow velocity of flow and the high temperature, so that the inside of the cover glows slightly in view of the high temperature of combustion. A large proportion of the heat passes to the piston-head without heating the lubricated cylinder surface, because at 500° C the radiation of heat amounts to about 50% of the total emission of heat and radiates vertically from the dish-shaped cover

The superheated water passes into the injection pump in the lower cylinder-cover and is sprayed with great velocity, tangentially onto the inner wall of the piston, near the piston-head, the water circulating about it with great velocity.

In order to reduce the compression, the fuel oil is sprayed into an annular groove of the piston and thence onto the red hot cover in the form of a flat cone, which descends with the piston.

The machine can be equipped, without practically any increase in the cost, for taking considerable overloads and may be connected to a steam heater and a hot water heater. It also permits the use of inexpensive lignite as a fuel for gas engine driven electric generators while the tar oil obtained from distillation of lignite may be used for driving Diesel engines in peak load stations.

The ordinary steam engine can be improved by the admission of superheated water in place of steam.

Nr. 431

China

A New Type of Gas Engine using the Injection Principle

Chinese National Committee

Prof. Koci Chang

With the advent of, and the great strides made by the Diesel motor, all the other types of internal combustion engines seem to have been made more or less obsolete. Indeed the gasoline engine still furnishes a vast amount of horsepower in the automotive field, yet even here the malicious Diesel engineers are constantly attempting the overthrow of the gasoline engine from the chassis and the installation of the Diesel motor in its stead.

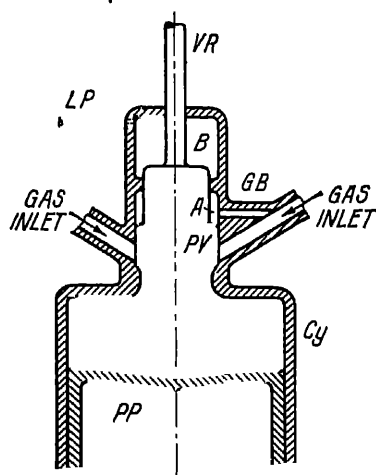
However, there are many places such as blast furnace plants, by-product coke ovens, plants where producer gas or other artificial gases can be advantageously manufactured, or regions where natural gas is still very cheap, the gas engine, in spite of its low efficiency, will necessarily continue to be used. For in these places the supply of gas is so over-abundant and the cost per hundred B.T U. of combustible is so low that the plant superintendent is usually satisfied with the performance of his engines and never bothers any further.

But if we could make any improvement on the gas engine and decidedly raise its efficiency, new fields may possibly be found for its adoption.

The principal troubles with the gas engine are: 1. That the fresh charge of gas and air is mixed beforehand and compressed together, so that the ratio of compression is limited in order to prevent pre-ignition 2 That at light load the usual gas engine governing methods give very low efficiency and bring forth objectionable irregularities in engine operation. 3 That the high exhaust temperature and pressure are a source of energy loss and are also responsible for the troubles with the exhaust valve.

The question is then asked: Encouraged by the astounding success of the high pressure injection oil engine, why could we not reconstruct the gas engine, so that it could also make use of the Diesel cycle ? The answer is that the Diesel fuel is very much cheaper than the lighter oils, which makes it well worthwhile to introduce all the elaborate designs into the injection oil engine, while there exists no such similar advantage with engines using gaseous fuels. However, in spite of the above mentioned fact, we try in the following to illustrate a gas engine based upon the Diesel principle with the hope that the elimination of all the drawbacks of the ordinary gas engine may possibly justify a comeback of the gas engine for general adoption.

In the accompanying drawing *Cy* is the cylinder; *PP* the power piston; *PV* the piston valve for gas; *VR* the valve rod, *GB* the gas by-pass.

As the power piston starts its upward stroke, fresh air blows into the cylinder through the scavenging port with a slight pressure. When the piston has travelled about three quarters of its stroke, the valve rod, actuated by a suitable cam and linkage, starts to lift up the piston valve. But the latter has a lap over the gas port, so that the port will not be opened until the power piston reaches about five degrees before upper dead centre. Since at this time the valve has already been travelling upward for a while, it uncovers the port rather quickly, thus avoiding more or less the wiredrawing of the high pressure gas. The gas ports are set in such a way that the two opposite streams of gas will be able

to cause a violent whirl in the combustion chamber. The gas by-pass connects the upper surface of the valve to the gas port. This surface is of such area that the total pressure exerted on it will nearly counterbalance the compression pressure during the last part of the upward stroke of the power piston so that the valve rod will not be subject to excessively compressive stress before the valve opens. And also, after combustion the pressure in the cylinder will have fallen so low that the piston valve can be pressed tightly on to its seat by the gas pressure on its upper surface. The chamber *A* serves as a dash pot As the valve travels up, it covers the by-pass. The gas entrapped in *A* is further compressed, thus bringing the valve to a standstill without shock. Any gas leaked out from *A* is collected in chamber *B* from where the pipe *LP* leads the gas back to the reservoir, thus avoiding the nuissance of gas leaking into the engine room and also effecting the economy of fuel. The advantages of this valve arrangement are the elimination of the valve spring, the reduction of gas leakage and the tightness of the valve after seating

As the fuel is in the gaseous state, no elaborate spraying nozzle is necessary, and the velocity of injection can be much reduced, necessitating a much lower injection pressure. Suppose the compression pressure is 500 pounds per sq.in Then for injection pressure 600 pounds per sq.in. is all that is necessary, because even at this moderate super-pressure the velocity of injection attainable is already as high as 450 feet per second, which ought to be sufficient to deliver the required amount of gas during about 25° of crank angle with two groups of nozzle ports of reasonably sized opening, and at the same time give the compressed air in the cylinder a high degree of turbulence.

For the compression of the gas a two or three-stage compressor with intercooling is suggested. As the maximum pressure is only 600 lbs per sq in., the power consumption should be very moderate. But if the gas is too weak, then it is not advisable to cool the compressed gas too much, as this may have a chilling effect in the cylinder and impair the spontaneous quality of the combustion process.

For speed governing in our case the variable lift method with a movable fulcrum is quite suitable.

Besides the proposed improvement over the ordinary type of gas engines, the gas injection engine has several superior points over the Diesel engine. 1. The compressor pressure need not be so high. 2. The fuel is gaseous, therefore such troubles as pressure surges, after-dripping, difficulty of varying an exceedingly small volume in governing, difficulty of atomization, etc. will all be absent. 3. The valve is of simple construction, quickly opening and closing and free of shocks.

There seems to be only one trouble left with the gas injection engine and that is. The exhaust temperature and pressure may become excessive due to the large amount of gas introduced into the cylinder during the compression period, especially so when a gas of low calorific value, such as blast furnace gas or producer gas, is used, as here the gas and air ratio may go as high as one to one. But even here the trouble may be easily averted in a four stroke cycle engine by making the cylinder and stroke longer than in the usual design and not closing the inlet valve until the crank has turned through say 60 or 70 degrees from the lower dead centre, thus shortening the compression stroke and giving a more complete expansion in the power stroke with a consequent lowering of the exhaust temperature and pressure.

Or, if the engine is of the two stroke cycle type, then the scavenging port may be placed higher than the exhaust port. But at the same time the former is equipped with a valve so that during the downward stroke, though it is uncovered first, yet the burnt gas is prevented from escaping through it, while during the upward stroke it lets a part of the air in the cylinder flow out again. Thus the compression stroke is again made shorter than the expansion stroke. Or, again, with an ordinary two stroke cycle engine, water pipe coils may be installed in the exhaust pipe, thus reclaiming a part of the lost heat for the plant's heating system or for other useful purposes.

In conclusion, though there has not been much serious thought over this gas injection problem, yet the simple design, the flexibility of operation and other advantages of this type of engine ought to encourage the Diesel engineers and builders to spend on it more time and effort in experimentation and development work.

Zusammenfassung

Der Bericht bringt eine neue Ausführungsmöglichkeit für Verbrennungskraftmaschinen nach dem Einspritzverfahren Die einfache Konstruktion, die weitgehende Verwendungsmöglichkeit und andere Vorteile einer solchen Ausführung sollte die Erbauer von derartigen Kraftmaschinen veranlassen, sich auch mit solchen Versuchen zu beschäftigen.

Generalbericht

Ortsfeste Verbrennungsmotoren und Verbrennungsmotorforschung

Prof. Dr.-Ing. A. Nägel

Der vorliegende Generalbericht erstreckt sich über 12 Beiträge. Sie befassen sich mit der Frage der Wirtschaftlichkeit, der Anwendungsgebiete und der Bauarten der ortsfesten Motoren und geben durch Mitteilung von neueren Forschungsergebnissen Anregungen zur Verbreiterung der Anwendungsbasis.

Bericht Nr. 253: Development of the Stationary Diesel Engine under the Conditions of American Power Economics (U.S.A.)
J. Kuttner

In Amerika liegen die Kraftbedarfsbedingungen völlig anders als in Europa. Dementsprechend ist auch die durch diese Bedingungen gegebene Rückwirkung auf die Konstruktion der Dieselmotoren anders als in Europa. In Amerika liegt das Schwergewicht auf der Herstellung und dem Verkauf von Serienmaschinen, während in Europa fast jede größere Anlage nach den Lieferungsbedingungen gesondert konstruiert wird. Kleinere Dieselmotoren haben in Amerika zur Kraft- und Stromerzeugung nur dort Aussicht, wo die Stromtarife hoch sind. Meist ist dann aber die Preisspanne zwischen Selbsterzeugungskosten und Fremdbezug so groß, daß es auf einige Gramm Mehrverbrauch von Treiböl garnicht ankommt. So sind auch die Motoren in Amerika im Aufbau wesentlich einfacher, die Typenzahl geringer und die Verkaufskosten dementsprechend niedriger.

Europäische Lizenzmotoren werden meist erst nach diesen amerikanischen Anforderungen umgebaut und vereinfacht, selten direkt nachgebaut. Die Ausgaben der amerikanischen Industrie für Brennstoff und Kraft betragen nur 3,3% vom Wert der Erzeugnisse. Die kompressorlose Einspritzung nach dem bekannten Price-Verfahren ist vorherrschend. Über 50% der amerikanischen ortsfesten Dieselmotoren arbeiten im Zweitaktverfahren und die Mehrzahl von diesen als Kurbelkasten-Spülmaschinen. Im Schiffsmotorenbau werden in Einzelfertigung hochentwickelte Motoren verwendet.

Bericht Nr. 360: Wirtschaftlichkeit des Dieselmotors (Tschechoslowakei)
Ing. J. Pečirka

und

Bericht Nr. 408: Großgasmaschinen in der Tschechoslowakei (Tschechoslowakei)
C. Macháček

Diese beiden Berichte diskutieren die Frage der Rentablilität von Diesel- und Gasmotorenzentralen gegenüber Dampfzentralen.

Allgemein gültige Angaben lassen sich nicht machen, da Amortisation, Betriebsdauer und Betriebskosten sehr schwanken. Kleine Dieselanlagen sind mit dem Dampfbetrieb zumeist wettbewerbsfähig. Große Anlagen sind nur günstig in bezug auf die Reservemaschine, die im Gegensatz zur Turbine entsprechend der Vielzahl der Dieselmotoren eine kleine Einheit haben kann. Hohe Zylinderleistung erreichen besonders die liegenden doppeltwirkenden 4-Takt-Tandem-Dieselmotoren in der Bauart der Skodawerke. Sie weisen einige interessante Konstruktionselemente auf, die in sinnreicher Verwertung der Erfahrungen im Großgasmotorenbau der gleichen Firma entstanden sind.

Für die Großgasmotoren wird die Rentabilitatsbetrachtung auf einer Wärmebilanzrechnung aufgebaut. Diese vergleicht einen Großgasmotor mit und ohne Abgasverwertung mit einer Hochdruckdampfturboanlage. Infolge der tiefen Grenze der Zylinderleistung erscheint der Gasmotor trotz thermischer Gleichwertigkeit ungünstiger als die Turbine. Zudem konnen Gichtgase vorteilhafter in Öfen und Dampfkesseln als in Motoren verwandt werden. Es wird daher ein Rückgang in der Anwendung der Großgasmotoren in der Tschechoslowakei fesgestellt.

Bericht Nr. 22: Neueste Entwicklung des Dieselmotors unter besonderer Berücksichtigung seiner Verwendung für Spitzenkraftwerke (Deutschland)
M. Gercke und Dr. A. Bannwarth

Mit einem Preisvergleich zwischen Gasol, Teerol und Steinkohle, bezogen auf den Wärmeverbrauch je kWh wird zunachst erwiesen, daß der Großdieselmotor zur Grundlastaufnahme bei der deutschen Elektrizitätsversorgung ungeeignet ist. Die Verhältnisse liegen nur in kohlearmen Landern bzw. Erdteilen günstig für den Dieselmotor. Betrieblich wird heute noch im Kurzbetrieb das einfacher zu verwendende Gasol dem Teeröl vorgezogen besonders infolge des nur geringen Preisunterschiedes.

Die mehrjährigen Betriebsergebnisse der Hamburger und Bremer Elektrizitätswerke haben ergeben, daß der Spitzendieselmotor schon bei nur 2 h/Tag Betriebsdauer den Belastungsfaktor eines Dampfkraftwerkes ganz wesentlich steigern kann, wenn auch die Leistung des Dieselmotors nur einen Bruchteil der Turbinenleistung ausmacht. Momentanreserve als Grundlastmaschine und Ausgleich der Nutzbelastung von Überlandkraftwerken ist besonders erfolgreich bei Aufstellung von Dieselmotoren zu erhalten

Konstruktiv wird uber 1000 kW die 4-Taktmaschine nicht mehr angewandt Aufklademaschinen zeigen im Spitzenbetrieb eine gewisse Unsicherheit infolge langsamerer Zundung beim Anlaufen wegen der verringerten Verdichtung. Der leichte und schnellaufende doppeltwirkende 2-Taktmotor ermoglicht die einfachste Bauart bei hochster Leistung. Beschrieben wird die Dieselmotorenanlage in Hennigsdorf und eine projektierte Anlage von 2 × 20500 PS Nutzleistung in 2 × 8 Zylindern.

Neben den Großdieselmotoren können auch Großgasmotoren bei Verarbeitung von Überschußgas der Gaswerke und Kokereien zur Spitzenlastdeckung verwandt werden. Es ware so eine Zusammenarbeit der Elektrizitäts- und Gaswerke moglich.

Bericht Nr. 214: Über die Entwicklung der Verbrennungsmotoren in der Schweiz (Schweiz)
Prof. P. Ostertag,
und
Bericht Nr. 316: Bemerkenswertes über die Entwicklung im Verbrennungsmotorenbau (Schweiz)
Dipl.-Ing. A. Buchi

Beide Berichte behandeln eingehend die konstruktiven Richtlinien, nach denen sich die Bauarten der Dieselmotoren in der Schweiz in den letzten Jahren entwickelt haben. Die Hauptträger dieser Entwicklung sind Gebruder Sulzer und die Schweizerische Lokomotivfabrik, beide in Winterthur.

Ostertag behandelt besonders die Neuerungen bei Gebruder Sulzer, die außer den bekannten einfachwirkenden 4-Takt- und 2-Taktmotoren jetzt auch zum doppeltwirkenden Zweitakt fur großte Leistung ubergegangen sind. Luftlose Einspritzung und Steuerung der Aufladeluft durch Kolbenschieber sind einige interessante Merkmale der Konstruktion. Die Entwicklung einer Diesellokomotive fur Vollbahnbetrieb hat in der Schweiz infolge des fast vollig elektrisch betriebenen Bahnnetzes wenig Aussicht auf Anwendung.

Die neueren Konstruktionen der Schweizerischen Lokomotivfabrik werden in dem Bericht von *Büchi* eingehend besprochen. Dabei wird vor allem auf die Erfahrungen und Verwendungsmöglichkeiten der Abgasturbine fur die Aufladung bei 4-Takt-Dieselmotoren nach dem bekannten Verfahren von *Buchi* eingegangen. Eine Rechnung uber die verschiedenen Maschinenabmessungen mit und ohne Aufladung schließt mit dem Ergebnis, daß die einfachwirkende 4-Takt-Auflademaschine annähernd dasselbe Gewicht wie die doppeltwirkende 2-Taktmaschine gleicher Leistung hat. Analog verhalt es sich mit den Preisen. Der Brennstoffverbrauch ist infolge des hohen mechanischen Wirkungsgrades besonders gering und liegt bei allen Laststufen unter 170 $g/PS_e h$.

Bericht Nr. 177: Forschungsinstitut fur Dieselmaschinen an der Technischen Hochschule in Graz (Österreich)
Prof. J. Magg

Von der Einrichtung des neuen Forschungsinstitutes an der Technischen Hochschule Graz wird im besonderen ein 2-Takt-Versuchs-Dieselmotor beschrieben, der durch Auswechselbarkeit der Teile die Erprobung der verschiedensten Schlitzanordnungen für die Spulung bei einer Drehzahlregelung zwischen 70 und 300 U/min gestattet. Ein 4-Taktmotor, Versuchsstande für Steuerungsantriebe, Brennstoffpumpen, Rohrleitungen, Indikatoren und ein chemisches Laboratorium erganzen die Einrichtung.

Bericht Nr. 101: Notes on Heavy Oil Engine Research (Great Britain)
Alan E. L Chorlton

Über die hauptsächlichsten englischen Arbeiten der letzten Jahre, die in das Gebiet der Schweröl-Motorenforschung fallen, wird referiert. Dabei wird der guten Zusammenarbeit der eigentlichen Forschungsinstitute mit den Industrielaboratorien gedacht. Spülung und Aufladung bei 4-Taktmaschinen nach verschiedenen Verfahren und der Abgasverwertung wird große Beachtung geschenkt. Die Erkenntnis des Verbrennungsvorganges ist durch die Arbeiten von *Bone, Newell* und *Townend* weiter gefordert worden. Schwingungsuntersuchungen und Dämpfungsvorrichtungen treten mit der Ausbreitung des Schnelllaufs in den Vordergrund der Forschungen.

Bericht Nr. 92. Some Characteristics of Nozzles and Sprays for Oil Engines. (Great Britain)
A. L. Bird

Ein Teilgebiet der im vorigen Bericht genannten Arbeiten betrifft die Untersuchung der Verbrennung in Abhängigkeit von der Gute der Zerstäubung bei der kompressorlosen Öleinspritzung. Die Bestimmung der Ausfluß- und Geschwindigkeitskoeffizienten für verschiedene Verhältnisse von Dusenlange zu Durchmesser ergab für bestimmte Verhaltnisse stets Unregelmäßigkeiten gegenüber einer sonst feststellbaren Gesetzmaßigkeit. Kurven für diese Koeffizienten in Abhangigkeit von der Reynoldschen Zahl werden unter Berücksichtigung des laminaren und turbulenten Stromungsgebietes angegeben. Weitere Versuche zeigten, daß ein direkter Vergleich zwischen der kontinuierlichen Strömung und der praktischen Düse trotz der Drosselerscheinungen in beschranktem Maße möglich ist. Die Einspritzung und Verbrennung in einem zylindrischen Versuchsgefäß wurde dann zur Feststellung von Einspritzverzug, Zündverzug und Nachbrennen durch Belichtung einer rotierenden photographischen Platte untersucht. Geandert wurden bei den verschiedenen Versuchen der Einspritzdruck, die Wirbelung und die Kolbenstellung im Zylinder. Auch der Einfluß der Restgasmenge auf den Verbrennungsverlauf wurde auf diese Weise einer Prufung unterzogen.

Bericht Nr. 308: Untersuchung des Arbeitsprozesses und des Warmeuberganges in der Dieselmaschine (Rußland)
Prof. Dr.-Ing. N. Briling

Die genaue Warmebilanzaufstellung eines 40 PS 4-Takt-Sulzer-Lufteinblasemotors bildet den Ausgangspunkt der Untersuchung. Sodann wird die Bestimmung des Warmeuberganges wahrend der einzelnen Arbeitsphasen vorgenommen, und das Ergebnis mit der von *Nusselt* aufgestellten Theorie verglichen Nicht fur alle Falle ist eine exakte Übereinstimmung festzustellen Eine neue Gleichung zerlegt den Warmeubergang durch Wirbelung in einen Übergang durch Einblaseluftwirbel und einen solchen durch Ansaugeluftwirbel Fur den Übergang durch Strahlung und Beruhrung wird eine empirische Formel angegeben in Abhangigkeit vom mittleren indizierten Druck Die Gleichungen werden

an früheren Versuchsergebnissen verschiedener Forscher nachgeprüft. Auf Grund der Ergebnisse wird eine neue Methode zur Bestimmung des Gütegrades in Abhängigkeit von Wärmeübergang und Nachbrennen vorgeschlagen.

Bericht Nr. 193; Vereinigte Brennkraft- und Dampfkraftmaschine (Österreich)
Dr. F. Merkl

Zur Vereinigung von Dieselmotor, Abhitzekessel und Dampfmaschine in einem Kolbenmaschinenaggregat wird ein Konstruktionsvorschlag, ähnlich der bekannten Scott-Still-Dieseldampfmaschine gemacht. Hier soll jedoch die Verdampfung erst innerhalb des Zylinders erfolgen. Im Kühlmantel und von den Abgasen hochüberhitztes Wasser wird mit 100 atü durch eine Art Brennstoffpumpe der unteren Kolbenseite eines 2-Takt-Dieselmotors zugeführt. Dort verdampft das Wasser und leistet Arbeit nach dem Gleichstromprinzip. Von einer Ausführung und Wirkungsgradrechnung auf Grund von Versuchen wird noch nicht berichtet.

Bericht Nr. 431 A New Type of Gas Engine using the Injection Principle (China)
Prof. Koci Chang

Der Bericht enthält den Vorschlag, auch in der Gasmaschine den hohen thermischen Wirkungsgrad des Dieselprinzips auszunutzen, indem das Gas am Ende des Verdichtungshubes unter Druck in den Zylinder eingespritzt wird.

Infolge der Eigenart des Brennstoffes ist hier kein übermäßiger Überdruck zur Erreichung guter Durchmischung erforderlich Die durch den vorgeschlagenen Prozeßverlauf unvermeidlich höheren Auspufftemperaturen und Drücke sollen durch verlängerte Öffnung der Saugventile bzw. Spülschlitze ausgeglichen werden

Entwicklungslinien

Aus dem hier zuerst genannten Bericht könnte man vielleicht auf eine grundsätzlich verschiedene Entwicklung im Dieselmotorenbau der einzelnen Länder schließen. In Amerika liegt das Hauptgewicht auf der Fertigung und dem Verkauf unter dem Leitgedanken, auch die kleinste Farm dem Dieselmotor einfachster Bauart zu erschließen. In Europa ist dagegen noch eine Vielzahl von Bauarten mit teils verwickeltem Aufbau zu bemerken. Aber wenn auch Amerika diesen Weg unter bewußter Vernachlässigung der günstigsten Verbrauchszahlen einschlagen konnte, so ist doch auch in Europa unter Einschluß der günstigsten Verbrauchszahlen eine sprunghafte Entwicklung in dieser Hinsicht festzustellen.

Bei größeren wie kleineren Anlagen wird immer mehr das komplizierte Steuerungstriebwerk und damit der 4-Takt ausgeschaltet. Das Anwendungsgebiet der liegenden Dieselmotoren beschränkt sich mit Ausnahme der tschechoslowakischen Ausführung nur noch auf kleine Ein-

heiten. Für die Bauarten der Großgasmotoren hat sich ein Standardtyp durchgebildet.

Fur die Elektrizitatserzeugung kommt in Europa nur der Spitzenlast- und Reserve-Dieselmotor in Frage. Wegen der hohen Kapitalkosten und der Platzersparnis ist fur diese der Leichtbau und Schnellauf bei großter Maschineneinheit wichtig. Eine Kupplung mehrerer Motoren zu einer Anlage ermöglicht durch viele gleiche Teile eine gunstige Preisgestaltung. Die letzten 4 Jahre haben in dieser Hinsicht große Fortschritte gebracht und dadurch dem Dieselmotor zur Energieversorgung neue Möglichkeiten erschlossen.

Zwar keine Vereinfachung des Maschinenaufbaues, jedoch eine beträchtliche Steigerung der Zylinderleistung durch Erhohung des mittleren Druckes ist bei den 4-Taktmotoren durch die Aufladung mittels Abgasturbogeblasen moglich geworden. Besonders in der Schiffahrt findet dieses Verfahren viel Beachtung und Verwendung.

Eine Verbreiterung der Anwendungsbasis des Dieselmotors ist nur durch eine planmäßige Erforschung aller mit dem Dieselbetrieb zusammenhangenden chemischen und mechanischen Vorgange moglich. Vom Umfang und Ergebnis dieser Forschungen geben die zahlreichen Berichte über Forschungsarbeiten aller Lander ein gutes Bild. Die so geschaffenen Unterlagen sollen dem Konstrukteur immer mehr gestatten, allen Berechnungen eine gesicherte Grundlage zu geben und rein empirische Konstruktionsregeln durch wissenschaftlich begründete Vorstellungen zu ersetzen.

Diskussionsvorschläge

Fur die Aussprache werden folgende Fragen empfohlen:

1. Erweist sich die Aufladung bei neu zu erstellenden Anlagen als wirtschaftlich gerechtfertigt gegenüber der entsprechend größer bemessenen Maschine ohne Aufladung?
2. Welche Aussicht hat die Aufladung für 2-Taktmotoren unter Ausnutzung der Auspuffenergie?
3. Welche Erfahrungen liegen mit der Abwarmeverwertung bei 2-Taktmotoren mit Rücksicht auf den Einfluß des Spulluftuberschusses und auf die Rückwirkung auf den Spulvorgang vor? Welche Rolle konnen in diesem Zusammenhang der Still-Motor und der Merkl-Motor spielen?
4. Inwieweit fallt im Falle einer Kupplung von Gas- und Elektrizitatswerk die Lastspitze der Elektrizitätswerke mit Überschußleistung der Gaswerke zusammen? Wie steht es in diesem Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeit großer Gasbehalter?
5. Welchen wirtschaftlichen Vorteil hat die dezentralisierte Aufstellung der Dieselmotoren fur den Belastungsausgleich der Verteilungsleitungen großer Elektrizitatsversorgungsgebiete?

General Report

Stationary Internal Combustion Engines and Research Work in this Connection

Prof. Dr.-Ing A. Nägel

The present General Report covers twelve papers. These papers deal with the question of the economics, the sphere of application, and the constructional designs of stationary engines, and by communicating the most recent results of research work they offer incentive and suggestions tending to the expansion of the basis of application.

Paper No. 253: Development of the Stationary Diesel Engine under the Conditions of American Power Economics (U. S. A.) J. Kuttner

Power requirements in America are absolutely different from what they are in Europe, and consequently the reaction resulting from those requirements makes itself felt differently in the construction of Diesel engines in Europe. In America the greatest importance is attached to the manufacture and sale of engines, constructed under mass production, while in Europe the construction of nearly every large plant has to answer certain specifications and conditions laid down for delivery. In America small Diesel engines used for the generation of power and current are likely to answer only where current tariffs are high. But in such cases it is generally found that the margin between the cost of producing power locally and that of obtaining it from a distant station is so great that the consumption of a few additional grammes of fuel oil is of no consequence at all. Hence, in America the constructional designs of engines are considerably simpler, there are fewer types, with the consequence that the sale costs are lower.

Engines built under European patents are usually re-designed and simplified in order to fulfil American requirements; they are rarely just copies of the European engines. The expenditure of American industry for fuel and power amounts only to 3.3% of the output. The well-known Price process of injection without a compressor is the one usually adopted. More than 50% of the American stationary Diesel engines operate on the two-stroke principle, and the greater number of these as crank-case scavenging engines. In marine engine construction individually designed highly developed engines are used.

Paper No 360: Wirtschaftlichkeit des Dieselmotors (Tschechoslowakei)
Ing. J. Pečirka,

Paper No. 408: Großgasmaschinen in der Tschechoslowakei (Tschechoslowakei)
C. Macháček

These two reports deal with the economic value of Diesel and large gas engine power plants as compared with plants driven by steam.

It is impossible to give universally applicable data, as amortisation, working hours, and running costs vary to a very great degree. Small Diesel plants are as a rule able to compete with steam Large plants are favourable only in respect of the stand-by engine, which, as contrasted with the turbine may have a small unit corresponding to the great number of Diesel engines. High cylinder efficiency is attained in particular by the horizontal double-acting four-stroke cycle Tandem Diesel engine as designed by the Skoda Works. These engines offer several interesting features of construction which are the result of cleverly applied experience obtained by this firm in constructing large gas engines.

The question of expense where large internal combustion engines are concerned is based on the utilisation of heat. The comparison which follows is between a large internal combustion engine with and without use of exhaust gas and a high pressure steam-turbo plant. Owing to the low limit of the cylinder output it would appear that the internal combustion engine, in spite of thermal equality, is more expensive to run than the turbine. Added to this, blast furnace gas can be used to greater advantage in furnaces and steam boilers than in engines. Owing to this bact a decrease in the use of large gas engines in Czechoslovakia has fecome apparent.

Paper No. 22: Neueste Entwicklung des Dieselmotors unter besonderer Berücksichtigung seiner Verwendung fur Spitzenkraftwerke (Deutschland)
M. Gercke and Dr. A Bannwarth

This report starts by comparing prices of gasoline, tar oil and pit coal in relation to the amount of heat used—so many kW per hour—and first of all it is shown that a large Diesel engine taking a basic load is unsuited to German electrical supply. Conditions are favourable to this use of Diesel engines only in those countries or parts of the globe where little coal is found. Only where short time is worked gasoline, which is simpler to handle, is nowadays used in preference to tar oil, particularly as in addition the difference in price is but slight.

The industrial results attained by the Hamburg and Bremen Electrical Works over several years have shown that the Diesel engine for production of peak load energy, even when only running for two hours per day, can increase the loading factor of a steam driven plant very considerably, even if the output of the Diesel engine is only a fraction of the turbine capacity. Temporary reserve as basic load engines and for the balance of the useful load of main power plant gives particularly successful results when Diesel engines are installed.

Constructively the four-cycle engine is no longer applied for more than 1000 kW. Supercharging engines show a certain unreliability in peak load operation on account of the slower ignition when being started, which is due to reduced compression. The light high-speed running double-acting two-stroke engine makes it possible to construct the simplest design accompanied by maximum output. A description follows of the Diesel engine plant at Hennigsdorf and also of a projected plant of 2 × 20,500 H.P. useful output with 2 × 8 cylinders.

Along with large Diesel engines, large gas engines can also be employed in gas and coking works in order to make use of the excess gas to meet the peak load. By these means electrical power-producing plants can operate in conjunction with gas works.

Paper No. 214: Über die Entwicklung der Verbrennungsmotoren in der Schweiz (Schweiz)
Prof. P. Ostertag,

and

Paper No. 316: Bemerkenswertes uber die Entwicklung im Verbrennungsmotorenbau (Schweiz)
Dipl -Ing. A. Buchi

These two reports deal in detail with the constructive trend which development of the various designs of Diesel engines has followed in Switzerland during the past few years. The chief producers, Messrs. Sulzer Bros. and the Swiss Locomotive and Machine Works—both of Winterthur—have been chiefly responsible for this development.

Professor *Ostertag* deals in particular with the innovations introduced by Messrs. Sulzer Bros who, besides constructing their well-known single-acting four-stroke and two-stroke engines have now also taken up the double-acting two-stroke engine in order to obtain the greatest output. Solid injection and control of the supercharge air by means of piston valves are among the more interesting features of this design. The development of a Diesel engine for mainline railways is not likely to be successful in Switzerland, owing to the fact that very nearly the whole railway system of that country has been electrified.

More recent designs constructed by the Swiss Locomotive and Machine Works are discussed in detail by Mr. *Buchi* in his report. He goes in particular into detail regarding experience gleaned and the possibilities of application of the exhaust gas turbine for supercharging four-stroke Diesel engines by the well-known process. Calculations relating to certain dimensions of engines with or without supercharging terminate with the conclusion that the single-acting four-cycle supercharging engine weighs approximately the same as the double-acting two-stroke engine of similar capacity. Prices in both cases are also much the same. The amount of fuel used is particularly small owing to the high degree of mechanical efficiency, and is with each load less than 170 grammes per H.P. and hour.

Paper No. 177: Forschungsinstitut fur Dieselmaschinen an der Technischen Hochschule in Graz (Österreich)
Prof. J. Magg

A description is given of the equipment of the new Institute for Research Work of the Technical College at Graz (Austria), and a two-stroke Diesel engine for experimental purposes is described in particular. In this engine all parts are interchangeable and this admits of testing the various arrangements of scavenging ports with 70 to 300 r.p m. A four-cycle engine, plant for testing the control driving gear, fuel pumps, pipe lines, indicators, and a chemical laboratory complete the equipment.

Paper No. 101: Notes on Heavy Oil Engine Research (Great Britain)
Alan E. L. Chorlton

This report deals with the most important research work carried out during the past few years by British investigators in connection with Heavy Oil Engine Research work. The excellent cooperation between Research Work Institutes and Industrial Laboratories is mentioned. Various processes of scavenging and supercharging of four-cycle engines are gone into in detail, as is also the use of exhaust gas. Recognition of the process of combustion has been much advanced by the work done by *Bone, Newell* and *Townend.* Experimental work concerning oscillations and devices for damping have come very much to the fore in research work owing to the expansion of high speed.

Paper No. 92: Some Characteristics of Nozzles and Sprays for Oil Engines. (Great Britain)
A. L. Bird

One section of the work mentioned in the previous report concerns examination of combustion in dependence upon quality of spraying where oil injection takes place without compressor. The determination of the coefficient of flow and velocity with various ratios of length to diameter of the nozzle gave irregular results in each case, according to certain circumstances, instead of following certain rules as usually happens. Curves for these coefficients dependent on the Reynold coefficient are given, while account is taken of the laminated and eddying sphere of current. Further tests showed that a direct comparison between the continuous flow and the practical nozzle is quite feasible within limits in spite of throttling symptoms Injection and combustion in a cylindrical vessel for tests were then examined in order to lay down facts with regard to delay in spraying, in ignition, and in after burning, by illuminating a rotating photographic plate. The pressure of injection, the eddying and the position of the pistons in the cylinder were changed during the various tests. Further, the influence of the quantity of excess gas on the process of combustion was in this way also subjected to the experiment.

Paper No. 308: Untersuchung des Arbeitsprozesses und des Wärmeüberganges in der Dieselmaschine (Rußland)
Prof. Dr.-Ing. N. Briling

The starting point of the experiment is the determination of the exact amount of heat utilized by a 40 H.P. four-cycle Sulzer engine with air injection. The next point is the determination of transfer of heat relating to the various working phases, and the results are then compared with the theory set up by Nusselt. An exact agreement was not found in all cases. A new equation resolves the transmission of heat by eddying in a passage by an eddy of blast air and one of suction air. Then follows an empirical formula for transmission by radiation and contact dependent on the mean indicated pressure. The equations are re-examined and compared with results from earlier tests carried out by various research workers. On the basis of these results a new method is proposed for determining the degree of quality dependent on the transmission of heat and after burning.

Paper No. 193: Vereinigte Brennkraft- und Dampfkraftmaschine (Österreich)
Dr. F. Merkl

In order to unite the Diesel engine, the boiler for use with waste gas and the steam engine in one piston engine set, a proposal for a design similar to the well-known Scott Still Diesel steam engine is put forward. Here, however, evaporation takes place only within the cylinder. Water very much overheated in the cooling jacket and by the exhaust gases passes at a pressure of 100 at (1400 lbs.) through a kind of fuel pump to the lower side of the piston of a two-stroke Diesel engine. There the water evaporates and operates on the uniflow steam principle. Nothing is reported regarding execution or figures of efficiency based on test.

Paper No. 431: A New Type of Gas Engine using the Injection Principle (China)
Prof Koci Chang

The paper proposes to apply the high efficiency grade of the Diesel principle also to the gas engine by injecting the gas into the cylinder under pressure at the end of the compression stroke

Owing to the character of the fuel no excessive pressure is needed to obtain a thorough mixture. The higher exhaust temperatures and pressures inavoidable in the proposed method are to be counteracted by a longer opening of the suction valves and scavenging ports.

Trend of Development

Perhaps the first paper referred to here might lead one to conclude that the development taking place in the various countries in Diesel

engine design is fundamentally different. In America most weight is laid on manufacture and sale, the great idea being that even the smallest farms should be able to acquire Diesel engines of the simplest design In Europe on the other hand, there are many varieties of design, some of them of partly complicated structure. But even if America follows this trend while intentionally neglecting the most favourable figures concerning consumption, it can be said that in Europe, even while including the most favourable of those figures, there is a marked development in this regard.

Both in larger and smaller plants, the complicated control gear, and along with it the four-cycle engine, is being increasingly eliminated. The sphere of application of the horizontal Diesel engines is limited, except in Czechoslovakia, only to small units. A standard type has been evolved for the various designs of large gas engines.

In Europe the peak load and emergency Diesel engines alone come under consideration in the production of electricity. Light constructional design and high speed, together with maximum uniformity are of importance on account of the high costs of capital and the need for economising space. More favourable prices are attained by coupling several engines in one plant, this in view of the number of similar parts. Great progress has been noticeable in this direction during the past four years, and this has opened up new possibilities for Diesel engines in the matter of supply of energy.

It has been found possible to increase the cylinder output considerably, though not to simplify the design of the engine, by increasing the medium pressure in four-stroke cycle engines by supercharging by means of exhaust gas turbo-blowers. The process is much appreciated, particularly in marine engine construction, where it is very frequently applied.

An extension of the basis of application of Diesel engines is possible only by systematic research work of all chemical and mechanical processes connected with the driving of Diesel engines. Numerous papers on research work from all countries give a good idea of the scope and results of this research work. The fundamental work thus set up should render it increasingly easier for designers to provide a sure basis for calculations and to replace purely empirical rules of construction by contentions based on science.

Points for Discussion

The following questions are proposed for debate:

1. Where new plant is to be set up is supercharging justified from the point of view of economics as compared with the correspondingly larger engines without supercharging?

2. What are the prospects for supercharging in two-stroke engines where exhaust energy is to be utilized?

3. What practical knowledge have we got with reference to the use of residual heat in two-stroke engines, taking into consideration the influence of excess of scavenging air, and the influence of the process of

scavenging ? What part can the Still engine and the Merkl engine play in this connection ?

4. How far does the peak load of electrical supply works correspond to the surplus output of gas works where these two plants are linked up ? What would the economic value of the big gasometer be in this connection ?

5. What economic advantage is there in a decentralized erection of Diesel engines for the equalisation of load of distribution mains in large areas to be supplied with electricity ?

Rapport général

Moteurs à combustion interne fixes et recherches dont ils ont fait l'objet

Prof. Dr.-Ing A. Nägel

Le rapport général ci-après se compose de 12 rapports particuliers traitant du rendement économique du moteur à combustion interne fixe, du champ d'application et des divers types de construction en usage; rendant compte des dernières découvertes faites à ce sujet. Ces rapports ne peuvent que favoriser l'extension de son emploi.

Rapport No. 253: Development of the Stationary Diesel Engine under the Conditions of American Power Economics (U.S.A.)
J. Kuttner

Les conditions régissant les besoins en force motrice aux Etats-Unis sont tout à fait différentes de celles qui règnent en Europe; aussi l'influence de ces conditions sur la construction du moteur Diesel y est-elle également tout autre qu'en Europe. En Amérique, la fabrication et la vente en grande série sont au premier rang des préoccupations des milieux industriels et commerciaux, tandis qu'en Europe presque toutes les installations de grande importance sont exécutées selon les conditions particulières imposées par chaque client. Les petits moteurs Diesel ne sont utilisés en Amérique pour la production de la force motrice, soit directement, soit par l'intermédiaire de générateurs électriques, que dans les cas où les tarifs pratiqués par les compagnies distributrices sont jugés trop élevés. Dans la plupart de ces cas la différence entre les prix de revient de l'énergie produite par les particuliers et les entreprises d'intérêt public est considérable de sorte que la consommation de combustible du moteur n'est pas de grande importance. Il s'ensuit que les moteurs de construction américaine sont sensiblement plus simples que les moteurs européens et que les modèles existant sur le marché sont bien moins nombreux qu'en Europe; les prix de vente, dans ces conditions, sont sensiblement inférieurs à ceux qu'on demande en Europe.

Les brevets européens de moteurs Diesel sont donc l'objet, pour l'adaptation aux besoins de l'industrie américaine, de transformations et de simplifications; les moteurs ne sont que très rarement construits en conformité rigoureuse de ces brevets Les dépenses de l'industrie américaine en combustible et en force motrice ne représentent que 3,3% de la valeur des produits fabriqués. L'injection du combustible par le procédé Price (sans recours à l'air comprimé) est largement prédominante Plus de 50% des moteurs Diesel américains pour in-

stallations fixes sont à deux temps, et la plupart de ces derniers sont du type à compression par le carter pour le balayage des gaz d'échappement. Quant à la propulsion des navires, on y a créé des moteurs à régime très poussé en fabrication particulière

Rapport No. 360: Wirtschaftlichkeit des Dieselmotors (Tschechoslowakei)
Ing. J. Pečirka,
et

Rapport No. 408: Großgasmaschinen in der Tschechoslowakei (Tschechoslowakei)
C. Macháček

Ces deux rapports traitent de l'économie des centrales à moteurs à gaz ou à huile lourde comparativement aux centrales à vapeur.

Il n'est pas possible de fournir des données possédant une valeur générale, parce que l'amortissement, la durée d'utilisation et les dépenses d'exploitation varient considérablement. De petites usines à moteurs Diesel soutiennent le plus souvent la comparaison avec des usines équivalentes à vapeur. De puissantes installations de groupes Diesel ne se recommandent que relativement à la modicité de la puissance en réserve, beaucoup plus réduite que dans les usines thermiques, en raison même du grand nombre d'unités Diesel nécessaires pour remplacer un nombre déterminé de groupes turbo-alternateurs. On réalise, avec les moteurs horizontaux à 4 temps de la maison Skoda, couplés en tandem, à double effet, de hautes puissances par cylindre. Ces machines présentent des particularités intéressantes, nées de la grosse expérience acquise par cette maison dans la construction des gros moteurs à gaz.

En ce qui concerne les puissants moteurs à gaz, les auteurs font reposer leurs recherches économiques sur un calcul de rendement thermique. Ce calcul permet de comparer un gros moteur à gaz avec ou sans récupération de la chaleur des gaz d'échappement avec une turbine à vapeur alimentée à haute pression. En raison de la faiblesse relative des puissances réalisables par cylindre, le moteur à gaz, malgré son haut rendement thermique, est finalement moins économique que la turbine à vapeur. En outre, les gaz de haut-fourneau peuvent servir bien plus pratiquement au chauffage des fours ou des foyers de chaudières à vapeur qu'à l'alimentation des moteurs à explosion. Il s'ensuit que les moteurs à gaz accusent en Tchécoslovaquie une régression marquée.

Rapport No. 22: Neueste Entwicklung des Dieselmotors unter besonderer Berücksichtigung seiner Verwendung fur Spitzenkraftwerke (Deutschland)
M Gercke und Dr A. Bannwarth

Les auteurs débutent par une comparaison des dépenses de combustible par kWh, selon que ce combustible est de l'huile à gaz, de l'huile de goudron ou de la houille, et en concluent que le moteur Diesel est impropre à produire actuellement la puissance de base des compagnies distributrices d'électricité en Allemagne. Ce n'est que dans les régions pauvres en combustible solide que le moteur Diesel peut se justifier à cet

emploi. En ce qui concerne la fourniture des puissances de pointe, l'huile à gaz l'emporte de son côté sur l'huile de goudron, car la différence de prix n'est pas considérable.

L'expérience de plusieurs années que possèdent les compagnies distributrices de Hambourg et de Brême au sujet de cette utilisation particulière du moteur Diesel montre que le groupe électrogène Diesel, même pour une utilisation journalière ne dépassant pas 2 h, peut accroître considérablement la capacité d'une centrale à vapeur, bien que la puissance en moteurs Diesel ne représente qu'une faible fraction de la puissance installée sous forme de turbines. Le moteur Diesel s'avère idéal pour constituer une réserve de puissance temporaire instantanément utilisable, et pour réaliser l'équilibrage des puissances utiles de centrales interurbaines.

Dès qu'on dépasse 1000 kW, le moteur à 4 temps n'est pas utilisé. Les moteurs à surchargement utilisés pour la production de puissance de pointe témoignent en effet d'un faible coefficient de sécurité en vertu de leur lenteur à démarrer, laquelle provient de la diminution de la compression. Le moteur à 2 temps léger et à marche rapide, se prête à la réalisation des puissances les plus fortes sous la forme constructive la plus simple. Les auteurs décrivent l'installation des moteurs Diesel de Hennigsdorf, et tracent les grandes lignes d'un projet de centrale de 40.100 CV. utiles en 2 unités à 8 cylindres chacune.

Concurrement avec les moteurs Diesel, les moteurs à gaz alimentés par les fours à coke et les hauts-fourneaux peuvent servir à couvrir la demande de pointe. De la sorte, une collaboration pourrait s'établir entre les usines électriques et les usines à gaz.

Rapport No. 214· Über die Entwicklung der Verbrennungsmotoren in der Schweiz (Schweiz)
Prof. P. Ostertag,

et

Rapport No. 316: Bemerkenswertes über die Entwicklung im Verbrennungsmotorenbau (Schweiz)
Dipl.-Ing. A. Büchi

Les deux rapports roulent pour commencer sur les grandes lignes de la construction du moteur Diesel, en Suisse, au cours des dernières années. Les principaux protagonistes de ce développement sont la firme Sulzer frères et la Fabrique Suisse de Locomotives, toutes deux installées à Winterthur.

Ostertag traite principalement des nouveautés de la construction Sulzer, qui, longtemps consacrée aux moteurs à simple effet à 2 et 4 temps, a passé récemment au moteur à 2 temps et à double effet de grande puissance. L'injection sans air comprimé et le réglage de l'admission de l'air de balayage par un tiroir à piston figurent parmi les caractéristiques les plus remarquables de leurs récentes réalisations Etant donné le haut point de développement de l'électrification des chemins de fer dans ce pays, il ne semble guère probable que la locomotive à moteur Diesel puisse jamais s'y répandre

Les constructions nouvelles de la Fabrique Suisse de Locomotives sont amplement traitées dans le rapport de *Buchi*. L'auteur s'occupe d'abord des possibilités de développement des turbines fonctionnant par les gaz d'échappement utilisées pour le surchargement de puissants moteurs à 4 temps, d'après le procédé bien connu de son invention. Le calcul des dimensions des machines fonctionnant avec ou sans surchargement l'amène à cette conclusion que la machine à simple effet, à 4 temps, avec surchargement, possède à peu près le même poids que la machine de même puissance à double effet et à 2 temps. Les conclusions sont analogues quant aux prix. La consommation de combustible est relativement réduite en vertu du haut rendement mécanique avec ces machines, et, quelle que soit la charge, elle ne dépasse jamais 170 g/CV. effectif utile.

Rapport No. 177: Forschungsinstitut fur Dieselmaschinen an der Technischen Hochschule in Graz (Österreich)
Prof. J. Magg

Parmi l'équipement du nouveau laboratoire à l'école supérieure technique de Graz figure un moteur Diesel d'essais, à 2 temps, dont les éléments sont interchangeables de manière qu'on puisse procéder à des essais comparatifs des différentes dispositions de lumières pour le balayage des gaz d'échappement. La vitesse est réglable entre 70 et 300 t/min Un moteur à 4 temps, des tableaux pour la régulation à distance de la marche, des pompes à combustible, des indicateurs de puissance et un laboratoire d'analyses chimiques complètent cette installation.

Rapport No. 101· Notes on Heavy Oil Engine Research (Great Britain)
Alan E. L. Chorlton

L'auteur rend compte des recherches effectuées en Grande-Bretagne au cours des dernières années sur les puissants moteurs à huile lourde. A ce sujet, il convient de signaler l'efficacité de la collaboration entre les laboratoires nationaux et industriels. Le balayage et le surchargement des moteurs à 4 temps par différents procédés, ainsi que la récupération de la chaleur d'échappement, ont reçu des milieux techniques une attention soutenue Le processus de la combustion est aujourd'hui bien mieux connu qu'autrefois grâce aux travaux de *Bone, Newell* et *Townend* Actuellement, on s'occupe beaucoup de la question des moteurs à grande vitesse; dans cet ordre d'idées, des travaux considérables ont été accomplis quant aux phénomènes de vibrations et aux dispositifs d'amortissement ad hoc, qui permettront seuls un intense développement de ce genre de moteurs.

Rapport No. 92 Some Characteristics of Nozzles and Sprays for Oil Engines (Great Britain)
A. L. Bird

Une partie du rapport précédent est consacrée à l'étude de la combustion en relation avec la finesse de la pulvérisation du combustible, dans les moteurs sans compresseur d'alimentation. La détermination expérimentale des coefficients de débit et de vitesse pour différents

rapports entre le diamètre et la longueur des injecteurs a toujours conduit à des divergences avec les valeurs obtenues dans des conditions de service déterminées On a établi des courbes donnant la valeur de ces coéfficients en fonction du nombre de Reynold, dans les deux hypothèses d'une injection uniforme et d'une injection turbulente. De nouveaux essais ont montré que la comparaison directe entre l'écoulement continu théorique et l'écoulement pratique à la sortie d'un injecteur est possible à un certain degré, malgré les phénomènes d'étranglement. On étudia ensuite l'injection et la combustion dans une éprouvette cylindrique afin de fixer le caractère du retard à l'injection, du retard à la combustion, et de la combustion prolongée; à cette fin, on éclairait une plaque photographique rotative pendant la durée du phénomène. On recommença les essais en faisant varier chaque fois la pression d'injection, le tourbillonnement et la position du piston dans le cylindre. On put également, par ce procédé, fixer très exactement l'influence de la quantité rémanente de gaz non brûlés sur le processus de la combustion suivante.

Rapport No. 308. Untersuchung des Arbeitsprozesses und des Wärmeüberganges in der Dieselmaschine (Rußland)
Prof. Dr.-Ing. N. Briling

L'auteur s'attache d'abord à fixer très exactement le bilan thermique d'un moteur de 40 CV. à 4 temps, fabrication Sulzer, à injection par l'air comprimé. Il étudie ensuite les échanges de chaleur aux diverses phases de travail, et compare les résultats de ses recherches avec ceux obtenus théoriquement par *Nusselt*. La concordance des conclusions ne s'observe pas dans tous les cas. Une nouvelle théorie permet de scinder la transmission de la chaleur par tourbillonnement en une transmission par l'intermédiaire du tourbillonnement de l'air d'injection, et en une transmission par l'intermédiaire d'un tel de l'air d'aspiration La transmission de chaleur par rayonnement et convexion est donnée par une formule empirique, en fonction de la pression moyenne indiquée. Les valeurs déduites de ces équations nouvelles sont comparées aux résultats de recherches antérieures de différents expérimentateurs. Se basant sur les résultats ainsi obtenus, l'auteur propose une nouvelle méthode pour la détermination du coefficient qualitatif en fonction du taux de transmission de la chaleur et de la combustion prolongée

Rapport No. 193· Vereinigte Brennkraft- und Dampfkraftmaschine (Österreich)
Dr. F. Merkl

L'auteur propose de réunir en une machine à piston unique un moteur Diesel, une chaudière chauffée par les gaz d'échappement de ce dernier et une machine à vapeur, suivant un mode de construction rappelant beaucoup celui de la machine bien connue Scott-Still. Ici, toutefois, la vaporisation doit se produire à l'intérieur du cylindre. De l'eau fortement surchauffée dans les chemises des cylindres et par les gaz d'échappement est refoulée sous une pression de 100 at au moyen d'une pompe analogue aux pompes à combustible, sous la

face inférieure d'un moteur Diesel à 2 temps. Arrivée là, elle se vaporise et produit un travail complémentaire en sorte d'une machine à vapeur courant de même sens. L'auteur ne donne pas encore de détails sur la réalisation pratique de ce dispositif, ni sur la détermination expérimentale du rendement.

Rapport No. 431: A New Type of Gas Engine using the Injection Principle (China)
Prof. Koci Chang.

Le rapport propose d'utiliser le rendement thermique élevé du principe Diesel aussi dans la machine à gaz, en introduisant le gaz sous pression dans le cylindre à la fin de la course de compression.

Le caractère du combustible ne nécessite pas une surpression excessive afin d'obtenir un bon mélange Les températures d'échappement et les pressions plus élevées qui résultent du procédé proposé peuvent être compensées par l'ouverture prolongée des soupapes d'aspiration respectivement des lumières de balayage.

Développement

Les rapports qu'on vient d'exposer brièvement pourraient inciter à conclure à une extrême diversité du développement du moteur Diesel dans les différents pays. En Amérique, l'idée dominante est de rendre le moteur Diesel assez simple et assez bon marché pour qu'il puisse être mis à la dispostion des agriculteurs même les plus modestes. En Europe, au contraire, on peut remarquer encore un grand nombre de modèles différents de moteurs Diesel. Quoiqu'en Amérique on ait pris ce chemin négligeant les nombres de consommation les plus favorables, en Europe le même développement sautillant, mais du même temps attachant du prix à la consommation la plus favorable se peut observer

Dans les grandes comme dans les petites installations on évite de plus en plus les mécanismes de distribution trop compliqués, c'est-à-dire les moteurs à 4 temps. Le champ d'applications des moteurs horizontaux se limite actuellement (l'installation signalée de Tchécoslovaquie étant exceptée) à de petites unités. On a créé, pour la construction des gros moteurs à gaz, un type standard.

En matière de génération électrique, seul le moteur de pointe ou de réserve est actuellement pris en considération en Europe A cause du capital engagé élevé et de la pénurie de l'emplacement disponible la construction des moteurs légers à marche rapide réalisant une grande puissance par cylindre est de grande importance. Le groupement de plusieurs moteurs dans une même installation rend aisé un prix économique, du fait que l'installation est divisée en plusieurs unités égales. A ce point de vue, on a réalisé de grands progrès au cours des dernières années, et cela ouvre de nouvelles perspectives au moteur Diesel pour la production de l'énergie électrique.

Un sensible accroissement de la puissance disponible par cylindre, par augmentation de la pression moyenne, a été rendu possible dans le moteur à 4 temps, grâce au surchargement par des ventilateurs com-

mandés par des turbines à gaz d'échappement; c'est principalement en matière de propulsion des navires que cette disposition est employée et fait l'objet d'études nombreuses.

Un élargissement du champ d'utilisation du moteur Diesel n'est possible qu'à la condition que des recherches méthodiques et suivies soient entreprises quant aux phénomènes chimiques et mécaniques intervenant dans son fonctionnement. Les nombreux rapports émanant des différents pays donnent une idée assez juste de l'étendue et des résultats des travaux effectués dans cet ordre d'idées. Ils doivent permettre aux constructeurs d'asseoir toujours davantage leurs calculs de machines sur des bases plus solides, et de remplacer les règles empiriques de construction par des procédés rigoureusement justifiés par les sciences.

Propositions de Discussion

Voici quelques questions qui pourraient être avantageusement posées à la discussion:

1. Est-ce que le surchargement se justifierait économiquement, dans les installations nouvelles à entreprendre, au lieu et place de la machine plus grande sans surchargement?

2. Quelles sont les perspectives du surchargement des moteurs à deux temps en utilisant l'énergie des gaz d'échappement?

3. Quels sont les résultats d'expérience qu'on possède sur la récupération de la chaleur d'échappement à des moteurs à deux temps, l'influence de l'excès d'air de balayage et les répercussions sur l'efficacité même du balayage étant prises en considération? Quelle est l'importance du moteur Still et du moteur Merkl à ce point de vue?

4. Dans quelle mesure, lors d'une coopération entre une usine électrique et une usine à gaz aux fins de la fourniture de la pointe journalière par des groupes à gaz, serait-on assuré que la pointe de l'usine électrique se présenterait au moment du maximum de disponibilités de l'usine à gaz? Dans quelle mesure la construction de grands réservoirs accumulateurs de gaz se justifierait-elle économiquement aux fins de cette fourniture?

5. Quels sont les avantages économiques de la décentralisation des stations auxiliaires à moteurs Diesel, au point de vue de l'équilibrage de la charge sur les canalisations de puissants réseaux électriques?

Diskussionsbericht

Ortsfeste Verbrennungsmotoren und Verbrennungsmotorforschung

Prof. Dr.-Ing. A Nägel

An der Diskussion nahmen die folgenden 9 Herren teil:

Becker, H., Oberıng, MAN, Augsburg, Stadtbachstr. 7.
Bräuer, E., Dr, Berlın-Grunewald, Kunz-Buntschuh Str. 4.
Buchi, A., Dipl.-Ing., Dir., Schweiz. Lokomotiv- u. Maschinenfabrik, Winterthur.
Lomonossoff, G, Prof. Dr -Ing., Adresse: Ing. *S. Machoff*, Berlin-Wilmersdorf, Weimarische Str. 5.
Merkl, F, Dr., Zivil-Ing., Wien IV, Mommsengasse 35.
Nägel, A., Dr -Ing. Prof., Technische Hochschule Dresden, Dresden-A, Altenzeller Str. 23.
Pawlikowski, R, Ing, Görlitz.
Richter, L, Dr.-Ing. Prof., Techn. Hochschule Wien, Wien IV, Seisgasse 9
Schultz-Balluff, F, Dipl.-Ing., Dir, Motorenfabrik Deutz A G, Koln-Deutz

Die am Schlusse des Generalberichtes formulierten Diskussionsvorschlage wurden in der Aussprache nur zum Teil zum Gegenstand eines Gedankenaustausches gemacht. Die ubrigen Diskussionsvortrage schlossen an einige andere Fragen an, die in den Einzelberichten dieser Sektion behandelt sind, und berührten allgemeine Probleme der Fortentwicklungsmoglichkeiten der Verbrennungsmotoren.

Schultz-Balluff-Deutschland wies auf die großen wirtschaftlichen Vorteile hin, die eine Heranziehung privater Kraftanlagen zur Stromabgabe an die Verteilungsnetze beim Auftreten der Belastungsspitze bieten könnte. Da die Belastungsspitze zumeist durch Lichtstromentnahme und zu einer Zeit eintritt, in der die Fabrikationsbetriebe gerade stillgesetzt werden, so könnte die industrielle Kleinanlage zeitlich genau passend als billiger Helfer einspringen. Die Vorteile waren neben dezentraler Aufstellung, Bauersparnis großer Spitzenwerke, höhere mittlere Ausnutzung der in privaten Kraftanlagen installierten Leistung und damit, trotz einer Verdienstmoglichkeit auch fur die privaten Kraftanlagen, eine Verbilligung der Stromkosten

Becker-Deutschland betonte ebenso wie im Generalbericht gekennzeichnet, daß die Entwicklung im Groß-Dieselmotorenbau nach einer möglichst großen Maschinenleistung bei kleinstem Raumbedarf hinziele Das Streben nach möglichst hoher Zylinderleistung tritt dagegen in den Hintergrund Die Spulung bei Zweitaktmotoren ist so weit durchgebildet, daß hohe Drehzahlen und Kolbengeschwindigkeiten bis ca. 7m/s zulassig sind

Über die sofortige Betriebsbereitschaft von Viertakt-Dieselmotoren mit Abgasturbinen-Aufladung machte *Buchi*-Schweiz in Ergänzung zu seinem Bericht Nr. 316 einige Mitteilungen. Der vergrößerte Kompressionsraum dieser Auflademaschinen erschwert den Anlaßvorgang nicht und laßt während des Anlassens keine niedrigeren Verdichtungsdrucke auftreten, als sie normale Motoren erreichen. Zur Begründung dieser Erscheinung wies er darauf hin, daß bei eingeschalteter Abgasturbine das Geblase beim Luft-Anlassen sofort Luft liefere und daß so die durch die Expansion stark unterkuhlte kalte Anlaßluft aus dem Zylinder geblasen werden konne. Auf diese Weise wird der anschließende Verdichtungshub auch eine zu sofortiger Zündung ausreichende Verdichtungsendtemperatur sicherstellen Versuche ergaben, daß die Anlaßzeiten von Viertaktauflademotoren die gleichen waren wie die von gewöhnlichen Viertakt- oder Zweitaktmotoren.

Zur Frage der wirtschaftlichsten Verwertung von Gasen, die auch im Bericht Nr. 408 diskutiert wurde, ergriff *Merkl*-Österreich das Wort. Er stellte fest, daß hochwertige Gase wohl wirtschaftlicher in Gasmaschinen als in Öfen verarbeitet werden konnten. Eine kurzzeitige Speicherung von Überschußgas würde zweckmäßig in Stahlbehaltern bei 150 at Druck erfolgen, da die Herstellungskosten fur normale Gasbehälter um 100% höher seien

Lomonossoff-Rußland sprach über die Anforderungen, die an den Dieselmotor im Falle seiner Verwendung in Lokomotiven zu stellen sind. Der bei Lokomotiven in weiten Grenzen wechselnde Kraftbedarf und Geschwindigkeitsbereich bietet für solche Dieselmotoren ein besonders dankbares Gebiet zur Anwendung der Aufladung Bei einer erforderlichen Drehmomentveranderung von 1:25 wird auch ein stetig sich änderndes Kompressionsverhältnis etwa nach der Art des von Schweter vorgeschlagenen Kolbens wünschenswert sein Lomonossoff schließt mit dem Bemerken, daß nach seiner Ansicht die Aufgaben zur Lösung des Diesel-Lokomotivproblems nicht in der Kraftübertragung, sondern in der Schaffung einer besonderen Lokomotivtype des Dieselmotors lagen.

Pawlikowski-Deutschland stellte im Anschluß an den Bericht Nr. 22 Betrachtungen darüber an, daß der Dieselmotor sich trotz seiner hohen thermischen Ausnutzung der Brennstoffwärme und seiner gegenuber Dampfanlagen geringeren Neuanlagekosten infolge der auf die kWh bezogenen hohen Treibolkosten nur einen so bescheidenen Platz in Kraftwerken erobert habe. Der Kohlenstaubmotor mit seiner jetzt erwiesenen Betriebsfahigkeit und seiner hohen thermischen Ausnutzung könne bestimmt, selbst gegenuber modernsten Dampfanlagen, noch große Vorteile bieten, falls sich nur eine Vereinigung von Kohlenwerken, Motorenfabriken und Kraftwerken fande, die das Einfuhrungsrisiko dieses Kohlenstaubmotors tragen würde

Brauer-Deutschland wies auf die Moglichkeit zur Speicherung von Nachtstrom durch elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff, der dann in Wasserstoffmotoren Verwendung findet, hin. Eine derartige Versuchsanlage sei seit langerer Zeit in Betrieb.

Nägel-Deutschland berichtete im Anschluß an den Bericht Nr. 92 von Düsenversuchen, die in Deutschland und Amerika zur Zeit im Gange sind. Sie dienen in ihrem Endzweck der Ergründung der Zerfallserscheinungen von Brennstoffstrahlen und dem Erreichen einer möglichst günstigen und schnellen Zerstäubung im Dieselmotor. Die Weglänge bis zum Zerfall und die Güte der Zerstäubung ist in weitem Maße abhängig von der Zähigkeit und Oberflächenspannung des Brennstoffes.

Richter-Österreich unterstrich die Notwendigkeit weiterer Forschungsarbeit auch am Leichtölmotor und verwies in diesem Zusammenhange auf den interessanten Bericht Nr. 264 von Dickinson.

Gesamtergebnis der Diskussion

Besonderes Interesse fand in der Fachsitzung das Problem der Spitzenlastdeckung der Kraftwerke. Sicherlich wird sich die wirtschaftlich günstigste Spitzenmaschine nur von Fall zu Fall unter Beachtung aller vorhandenen Energieformen auswählen lassen. Die in der Fachsitzung zur Sprache gebrachten Möglichkeiten werden einen wertvollen Hinweis in dieser Richtung bieten können.

Result of Discussion

The problem of covering the peak loads of power stations specially interested this section. The economically most favorable peak machine will certainly only be selected from time to time when all existing forms of energy are considered. The possibilities mentioned in the section will afford a valuable hint in this direction.

Résultat de la discussion

A la séance de cette section technique le problème de la couverture de la charge de pointe a rencontré un intérêt tout particulier. La machine de pointe économiquement la plus avantageuse ne pourra être certainement choisie que dans chaque cas particulier en tenant compte de toutes les formes d'énergie existantes. Les possibilités qui ont fait l'objet des discussions à cette séance pourront être une indication précieuse dans ce sens.

Section 30

FLUGZEUG- UND FAHRZEUGMOTOREN

AIRCRAFT AND AUTOMOBILE ENGINES

MOTEURS D'AVIONS ET D'AUTOMOBILES

Vorsitzender — Chairman — Président

Prof. Ing. Giuseppe Belluzzo (Italien)

Stellvertr. Vorsitzender — Vice Chairman — Vice-Président

Prof. Dr.-Ing. K. Körner (Tschechoslowakei)

Beisitzer — Assistant — Assesseur

Dr.-Ing. K. Maybach (Deutschland)

Generalberichterstatter — General Reporters — Rapporteurs Généraux

Ministerialdirigent Dr.-Ing. Brandenburg und Dr. Heller (Deutschland)

Ungarn

Eine neuere Bauart des rasch laufenden Dieselmotors, insbesondere auch für Fahrzeugzwecke

Ungarisches Nationalkomitee

Dipl.-Ing. G. Jendrassik

Die Voraussetzungen der Wirtschaftlichkeit des rasch laufenden Rohölmotors für kleine Kraftanlagen

In Ländern mit verhältnismäßig dünner Besiedlung und vorwiegend agrarischem Charakter kann die Energieversorgung zum großen Teile nicht in ihrer wirtschaftlichsten Form der *zentralen Krafterzeugung* erfolgen. Meist sind es zerstreute, weit voneinander entfernte Punkte, deren geringer Energiebedarf gedeckt werden muß, und so ergibt die für solche Verhältnisse angestellte Rentabilitätsrechnung, daß die hohen Anlage- und Instandhaltungskosten der Energieumformung und Verteilung durch Fernleitungen durch die Erträgnisse solcher Abnahmestellen nicht gedeckt werden können. Unter solchen Bedingungen ist meist die *Energieerzeugung* in ihrer völlig *dezentralisierten Form* die gegebene wirtschaftliche Lösung und es hängt die Art und Weise, in welcher der vorhandene Kraftbedarf gedeckt werden kann, von den besonderen, an jeder Verbrauchsstelle waltenden Umständen im weitesten Maße ab.

Während man bei größeren Leistungen und Dauerbetrieben vor allem Wert auf eine sparsam und wirtschaftlich arbeitende Maschine legt, und für derartige Maschinen allenfalls auch etwas höhere Anlagekosten ansetzen kann, erfordern mittlere oder kleine Leistungen, wie sie bei kleinindustriellen und landwirtschaftlichen Betrieben meist die Regel sind, sowie aussetzende oder periodische Betriebe meist Anlagen mit bescheidenen Errichtungskosten, wobei eben mit Rücksicht auf die geringe Leistung und kürzere Betriebsdauer die Forderung besonders erhöhter Wirtschaftlichkeit in den Hintergrund tritt. Gemeinsam ist aber stets die Forderung unbedingter Betriebssicherheit solcher Anlagen, die meist ohne oder mit geringer Reserve arbeiten müssen und bei denen besonders geschultes Personal meist nicht zur Verfügung gestellt werden kann.

Die gleichen Verhältnisse, die eine Dezentralisierung der Krafterzeugung als geboten erscheinen lassen, üben ihren besonderen Einfluß auch auf das Verkehrswesen aus. In Ländern des oben geschilderten volkswirtschaftlichen Zuschnittes ist die Dichte des Personenverkehrs auf einem großen Teile des Bahnnetzes eine so geringe, daß die Bildung

normaler Personenzüge unrentabel erscheint und zur Rationalisierung des Verkehrs autonome, motorisch angetriebene Fahrzeuge herangezogen werden müssen.

Die Antriebsmaschinen für diesen Zweck stellen außer den genannten Forderungen nach hoher Wirtschaftlichkeit und vollkommenster Betriebssicherheit noch eine Reihe von Sonderbedingungen, die im engsten Zusammenhang mit dem Wesen ihres Bestimmungszweckes stehen.

Verhältnisse, welche die Losung des Problems der Kleinkraftzentralen besonders dringend erscheinen ließen, herrschen im heutigen *Ungarn*, welches zum großen Teile auf weitgehende Dezentralisierung seiner Energiewirtschaft angewiesen ist und wo sich ein großer Teil des Reisendenverkehrs durch Eisenbahn-Öltriebwagen und Autobusse abwickelt.

Von den heute bekannten Wärmekraftmaschinen kommt in erster Linie der Vergasermotor fur die genannten Zwecke in Frage.

Der Vergasermotor stellt in seiner heutigen Bauform eine fur alle Zwecke kleiner Zentralen sowie des Fahrzeugantriebes vollkommen entwickelte Maschinentype dar. Er ist ein verhältnismäßig billig zu beschaffender Motor, der geringes Gewicht besitzt und wenig Raum beansprucht. Die vollkommene konstruktive Durchbildung seiner Bauteile hat diese Maschine heute auch zu einem hohen Grade von Betriebssicherheit gebracht Die Wartung der Maschine ist einfach und auch von wenig geschultem landwirtschaftlichem Personal leicht zu erlernen. Im Fahrzeugbetrieb hat der Benzinmotor seine Eignung fur die besonderen Anforderungen in weitgehendem Maße bewiesen. Der schwerwiegendste Nachteil desselben, der ihn zum Betrieb von kleinen Zentralen und für den lediglich wirtschaftlichen Zwecken dienenden Fahrzeugbetrieb weniger geeignet macht, ist der Umstand, daß der verwendete Brennstoff einerseits kostspielig ist, andererseits in den meisten Ländern nur durch Einfuhr ausländischer Rohstoffe gewonnen werden kann und uberdies zur feuersicheren, gefahrlosen Lagerung besonderer Vorkehrungen bedarf Aus diesem Grunde ist daher die Aufstellung von Benzinmotoren fur gewerbliche und industrielle Zwecke an die Einhaltung besonderer behördlicher Vorschriften gebunden. Die Verwendung von Benzinmotoren fur den schweren Fahrzeugbetrieb, insbesondere zum Antrieb von Personenfahrzeugen fur Landstraßen und Eisenbahnen ist ebenfalls durch die gleichen Nachteile beeinträchtigt

Diese Erwagungen führen zu dem Problem, den Benzinmotor durch eine gleichwertige Maschine zu ersetzen, welche alle Vorteile seiner Bauart besitzt, jedoch einen wohlfeileren, gefahrlosen und billigen Brennstoff zu verwerten vermag.

Den gestellten Anforderungen der *Wirtschaftlichkeit und der Gefahrlosigkeit bezuglich des Brennstoffes* entspricht von den bekannten Kraftmaschinen am besten der rasch laufende kleine Dieselmotor, und es galt, einen solchen Motor zu schaffen, der ohne allzu hohe Anlagekosten allen Anforderungen, insbesondere auch denen des *Fahrzeugbetriebes*, vollständig Genüge zu leisten vermag.

So muß bei einem guten Fahrzeugmotor die Inbetriebsetzung auch bei sehr kalter Witterung ohne umständliche Maßnahmen, wie Vorwärmung u dgl., vonstatten gehen, da die Motoren meist derart eingebaut sind, daß sie während des Betriebes nur schwer zugänglich sind. Ihre Bedienung muß jedoch vom Platze des Wagenführers aus leicht und rasch ohne Zuhilfenahme von Hilfskräften erfolgen können. Der Gang muß bei verschiedenen Drehzahlen in gleicher Weise ruhig, gleichmäßig und möglichst geräuschlos sein, die Änderung ihrer Drehzahl, d. i. die Beschleunigung und Verzögerung, muß rasch und erschütterungsfrei vor sich gehen. Die Maschine muß in dem durch die Kraftübertragungsorgane bedingten Drehzahlbereich bei allen Belastungen wirtschaftlich arbeiten und ein möglichst hohes Drehmoment entwickeln, damit die Beschleunigungsperioden des Fahrzeuges nicht allzusehr verlängert werden.

Wertung der Hauptbauarten von Klein-Dieselmotoren

Der Bau raschlaufender, kompressorloser Dieselmotoren hat im Laufe der letzten Jahre eine große Entwicklung genommen und es ist allenthalben wesentliche Arbeit zu ihrer Vervollkommnung geleistet worden. Es sind auf diesem Gebiete auch erhebliche Fortschritte gemacht worden, und die entwickelten Bauarten entsprechen auch im großen und ganzen den gestellten Anforderungen. Ein jedes System weist jedoch gewisse Vorteile und Nachteile gegenüber anderen Typen auf, und es ist daher das Bestreben nach Ausbildung einer solchen Bauart, die allen zu stellenden Bedingungen in möglichst vollkommener Weise entspricht, durchaus gerechtfertigt. Ganz besonders ist dieses Ziel anzustreben, wenn es sich um eine Fahrzeugmaschine, wie z. B. den Antriebsmotor eines Eisenbahntriebwagens, handelt, da eben bei diesem Anwendungsgebiet die bestehenden Unvollkommenheiten am schwersten in die Wagschale fallen

In dieser Richtung ist seitens der Firma Ganz & Co. A. G. in Budapest in den letzten Jahren sehr viel Arbeit geleistet worden und es ist daselbst eine neue Bauart nach den Patenten des Verfassers entwickelt worden.

Ehe auf die Erörterung des Systems *Ganz-Jendrassik* eingegangen wird, möge in Kürze untersucht werden, inwieweit die bisher bekannten Motorbauarten den oben aufgestellten Bedingungen genügen, um hierdurch jene Gesichtspunkte zu kennzeichnen, die bei der Entwicklung der genannten Maschine richtunggebend waren.

Für kleinere, den europäischen Verhältnissen angepaßte Fahrzeuge kommen Leistungen bis hinauf zu 150 PS in 6 Zylindern bei einer Drehzahl von 1000 bis 1200 U/min in Frage, so daß das Hubvolumen pro Zylinder etwa bis zu 3,5 dm³ beträgt.

Maschinen mit *direkter Brennstoffeinspritzung* von wenigstens 2 dm³ Hubraum zeichnen sich dadurch aus, daß sie, wenn der Brennstoff in genügend feinverteiltem Zustande eingeführt wird, von kaltem Zustande aus, ohne Vorwärmung oder andere Hilfsmittel wie elektrische Glühspiralen oder Zündpatronen, anspringen. Ihr Verbrennungsraum besitzt unter allen Maschinenarten die einfachste Form, demzufolge ist der

Wärmeverlust während der ersten Kompressionsperiode auf das kleinstmögliche Maß reduziert, und die komprimierte Luft wird am Ende des Kompressionshubes bei dem üblichen Verdichtungsdruck von 30 kg/cm² über die Entzündungstemperatur des Brennstoffes erwärmt. Sowohl zur sicheren Erzielung der ersten Zündungen als auch zur Herbeiführung einer vollkommenen Verbrennung während des Betriebes ist es unerläßlich, daß der Brennstoff bei diesen Maschinen bis zu einem gewissen Feinheitsgrade zerstäubt wird. Die Wärmeaufnahme der einzelnen Brennstofftröpfchen aus der erhitzten Verbrennungsluft erfolgt um so rascher, je kleiner der Durchmesser der einzelnen Teilchen ist, da sie der Wärmeaufnahme hierbei eine um so größere Oberfläche darbieten und schwebend erhalten werden, bis die Verbrennung einsetzt. Auch diese erfolgt um so vollkommener, je feiner der Brennstoff im Verbrennungsraume verteilt wird. Die notwendige Feinheit der Zerstäubung ist aber während des Anlassens schwer zu erreichen, da die Aufspaltung des Brennstoffes in kleine Teilchen nur bei hoher Geschwindigkeit der aus der Düse tretenden Brennstoffmenge möglich ist. Diese Geschwindigkeit hängt bei den zumeist angewendeten offenen Düsen von der Kolbengeschwindigkeit der Einspritzpumpe und somit von der jeweiligen Drehzahl der Maschine ab, die jedoch während des Anlassens sehr niedrig ist und nur etwa 100 bis 120 U/min beträgt. Deshalb müssen besondere Maßnahmen getroffen werden, um eine entsprechend hohe Einspritzgeschwindigkeit zu erzielen, zu denen in erster Linie die Anwendung überaus kleiner Bohrungen gehört. Wird die Drehzahl der Maschine auf ihren Normalwert von z. B. 1100 U/min gesteigert, dann erhöhen sich die Einspritzgeschwindigkeiten auf das Zehnfache. Die Drücke würden bei quadratischem Ausflußgesetz auf das 100fache des Wertes anwachsen, der beim Anlassen notwendig war. Nehmen wir diesen Wert mit ca. 10 kg/cm² an, dann würde der Einspritzdruck bei normaler Drehzahl 1000 kg/cm² betragen. Derartig hohe Drücke erscheinen jedoch unerwünscht, da sie zur übermäßig hohen Inanspruchnahme der Pumpen und ihrer Antriebsstelle führen sowie an die Dichtungen besonders schwierig zu erfüllende Anforderungen stellen.

Allerdings besteht die Möglichkeit, die Einspritzorgane so zu gestalten, daß sich der Druck nicht mit dem Quadrat der Drehzahl erhöht, sondern nach einem weniger rasch ansteigenden Gesetz zunimmt. Zu diesem Zweck wird die Brennstoffpumpe mit einem gewissen Kompressionsraum ausgestattet, dessen Vorteil darin besteht, daß der Einspritzdruck von der Drehzahl in geringerem Maße abhängt und sich hierbei insofern eine automatische Regelung ergibt, als bei sinkender Drehzahl die eingespritzte Brennstoffmenge, ohne daß der Regulierhebel verstellt wird, automatisch wächst. Gerade diese Eigenschaft bedeutet aber gleichzeitig auch einen gewissen Nachteil, da der Wagenführer von seinem Stand aus aus der Stellung des Regulierhebels die tatsächliche Pumpenlieferung nicht beurteilen kann und dadurch die Maschine leicht überlastet wird.

Wenn auch die *offene Düse* im allgemeinen den Vorzug einfachster Bauart besitzt, so ist die Betriebssicherheit dieser Düsen bei Anwendung

überaus feiner Bohrungen insofern nicht ganz vollkommen, als leichte Störungen an den Pumpenventilen das richtige Funktionieren der Düsen stark beeinflussen. In solchen Fällen können nämlich Rußteilchen aus dem Zylinder in die Bohrungen gelangen und diese zum Teil oder ganz verlegen. Auch zu starke Erhitzung der Düsen kann zu Rußbildung an der Düsenmündung Anlaß geben. Außerdem sind solche Düsen gegen Verunreinigungen während der Montage sowie gegen Fremdkörper, die sich im Betriebe von den Innenwandungen der Pumpen oder Einspritzrohre loslösen oder zufolge unvollständigen Filtrierens in dem Brennstoff enthalten sein können, sehr empfindlich.

Werden einige von den Düsen einer Maschine auch nur leicht verlegt, dann erhalten die einzelnen Zylinder nicht mehr die gleiche Brennstoffmenge, und es werden diejenigen Zylinder, deren Düsen intakt sind, überlastet. Bei vollständigem Verstopfen einer Düse können in der dazugehörigen Brennstoffpumpe verhängnisvoll hohe Drücke entstehen, die in der Pumpe oder in deren Antriebsteilen Brüche zur Folge haben können. Diese Gefahr kann nur entweder durch Anbringung eines Sicherheitsventils an der Pumpe oder durch Schaffung eines entsprechend großen Kompressionsraumes ausgeschaltet werden. Die erstere Maßnahme ist eine weitere Komplikation, die neue Störungsmöglichkeiten mit sich bringt, die zweite ist, wie oben entwickelt, mit bedeutenden Nachteilen verbunden.

Die geschlossene Düse ist im Aufbau viel komplizierter als die offene Düse. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß ein federbelastetes, geführtes Ventil durch den Druck des Brennstoffes entgegengesetzt zu dessen Strömungsrichtung mittels Differentialkolbenwirkung geöffnet wird und nur hierdurch dem Brennstoff der Weg zur eigentlichen Düsenmündung freigegeben wird. Bei der geschlossenen Düse kann man eine ziemlich weitgehende Unabhängigkeit der Beschaffenheit der Zerstäubung von der Drehzahl erreichen, wenn der Querschnitt der Düsenmündung durch das erwähnte Ventil derart gesteuert wird, daß der gesamte Druckabfall in der Düsenmündung und nicht beim Passieren des Ventilsitzes erfolgt. Bei derartigen Konstruktionen erhält das Ventil einen Zapfen, der diese Steuerung bewirkt und der sehr genau in die Düsenmündung passen muß. Es entstehen Spalten von einigen hundertstel Millimeter Breite. Derartige Düsen arbeiten, wenn sie mit äußerster Sorgfalt hergestellt sind, mit großer Präzision, doch sind sie gegen Verunreinigungen, ebenso wie offene Düsen mit feinen Bohrungen, ziemlich empfindlich. Die geschlossene Düse ist der offenen auch darin überlegen, daß sie von den dynamischen Wirkungen der Ölsäule im Druckrohr der Einspritzpumpe weniger beeinflußt und eine Abstimmung der Verhältnisse leichter durchführbar wird. Ferner sind zur guten Zerstäubung viel niedrigere Drücke als bei den offenen Düsen notwendig. Dagegen dürfte eine leichte Abnützung des Nadelventils das Arbeiten der geschlossenen Düse sehr nachteilig beeinflussen.

Die *Vorkammermaschinen* sind im Betriebe weniger empfindlich als Maschinen mit direkter Einspritzung und vermögen auch schwerere Brennstoffe zu verarbeiten. Hohe Einspritzdrücke werden bei diesen

Maschinen zufolge der bekannten Vorkammerwirkung durchaus entbehrlich und entfallen somit auch die hohen Beanspruchungen der Pumpen und ihrer Antriebsteile. Diese Maschinen besitzen dagegen bei den in Betracht kommenden Zylindergrößen den Nachteil, daß sie vom kalten Zustande aus ohne besondere Hilfsmittel nicht anzulassen sind. Als Hilfsmittel kommt fur Fahrzeugzwecke in erster Linie die elektrische Gluhspirale in Frage, denn nur diese kann von der Ferne aus betätigt werden. Die elektrischen Glühspiralen arbeiten jedoch unter sehr ungünstigen Verhältnissen, da sie meistens in die Vorkammer eingebaut sind und in diese hineinragen, um beim Anlassen sicher von den Öltropfen getroffen zu werden. Im Betriebe erhitzen sich die Glühspiralen daher stark, so daß ihre Lebensdauer eine beschrankte ist und sie durch die hohen Temperaturen rasch zerstört werden. Das schwierige Anlassen der Vorkammermaschinen, wie überhaupt aller Maschinen mit zerklufteten Brennräumen von verhältnismaßig großer gekühlter Oberflache, ist einerseits durch die starke Abkuhlung wahrend des Kompressionshubes, andererseits durch den Umstand, daß der eingespritzte Brennstoff nach Zurucklegung einer kurzen Strecke an eine kalte Wand trifft und daran haftet, bedingt. Diese Wärmeverluste können bei den in Betracht kommenden Zylindergroßen nicht durch Erhohung des Kompressionsverhaltnisses aufgehoben werden, da diese Maßnahme innerhalb der durch die konstruktiven Möglichkeiten bedingten Grenzen nicht nur die erzeugte Wärme, sondern auch die durch die Wände abgefuhrte Wärmemenge vergrößert.

Das Anlassen mittels Hilfsdüse, welche nicht in die Vorkammer, sondern direkt in den einheitlich geformten Kompressionsraum einspritzt, ist nur fur stabile Maschinen versucht worden und dürfte auch für Fahrzeugmotoren wegen der Schwierigkeit des Ausschaltens der Hilfsdusen vom Führerstande aus nicht in Frage kommen.

Eine bekannte Maschinenfabrik verwendet bei ihren rasch laufenden, mit Vorkammern versehenen Fahrzeugmaschinen — um das Anlassen zu erleichtern — eine Abschnappkupplung für die Brennstoffpumpen und geschlossene Düsen Durch das Arbeiten der Abschnappkupplung erfolgt die Einspritzung bei niedriger Drehzahl unter Wirkung einer Feder, wodurch die Zerstaubung sehr verbessert wird. Trotz dieser Maßnahmen ist aber beim Anlassen eine elektrische Glühspirale notwendig, um Zündungen zu erreichen.

Die Regelung der Brennstoffmenge bei offenen Dusen erfolgt in den meisten Fallen durch Verandern des Öffnungszeitpunktes eines Entlastungsventiles oder einer Entlastungsbohrung, durch welche der Brennstoff aus dem Druckraum abfließen kann. Bei geschlossenen Dusen finden sich auch besonders einfache Ausfuhrungen, wo die Regelung nur durch Hubänderung des Kolbens der Brennstoffpumpe geschieht Bei der ersten Art der Regelung mussen die Entlastungsorgane äußerst genau funktionieren, damit die Brennstoffzuteilung zu den einzelnen Zylindern gleichmäßig erfolgt Im letzteren Falle müssen die Federbelastungen der Nadelventile der Düsen sehr genau eingestellt werden. Sind diese Ventile im Falle der einfachen Hubregelung nicht vollstandig

dicht, dann ist in den betreffenden Zylindern die Einspritzung von dem lästigen Nachtropfen des Brennstoffes mit seinen unangenehmen Folgen begleitet. Viele Konstruktionen weisen den Fehler auf, daß kein Mittel vorgesehen wird, die Gleichhheit der in die einzelnen Zylinder eingeführten Brennstoffmenge überprüfen zu können.

Aus dieser kurzen Auseinandersetzung ist zu ersehen, daß einer jeden der derzeit bekanntgewordenen Motortypen gewisse Vorzüge und Nachteile zukommen.

Das Rohölmotor-System Ganz-Jendrassik

Bei Ausbildung der Motoren des Systems *Ganz-Jendrassik* diente das Bestreben als Richtschnur, die oben beschriebenen Nachteile einzelner Bauarten und Konstruktionselemente zu vermeiden und durch Vereinigung ihrer günstigen Eigenschaften mit Rücksichtnahme auf die Verwendung der Maschine für den Fahrzeugbetrieb die folgenden Anforderungen möglichst vollkommen zu erfüllen:

1. Volle Betriebssicherheit, insbesondere auch höchste Zuverlässigkeit der Einspritzorgane muß gewährleistet sein. Zu diesem Behufe müssen enge Düsenöffnungen, die empfindlichen Überströmorgane in der Pumpe, ferner übermäßig hohe Drücke in den Pumpen und Triebwerksteilen vermieden werden.

2. Bei jeder Drehzahl muß ein gleich wirtschaftlicher Betrieb, somit insbesondere eine gleichmäßig gute und rauchlose Verbrennung erreicht werden und der Gang des Motors hierbei ruhig und möglichst geräuschlos sein.

3. Das Anlassen der kalten Maschine muß ohne thermische Hilfsmittel erfolgen.

Im nachstehenden sollen nun die konstruktiven Maßnahmen und deren Wirkung erörtert werden, mittels deren die Erfüllung dieser drei wesentlichen Bedingungen angestrebt und erreicht wurde.

ad 1. Eine der wesentlichsten Bedingungen zur Erzielung voller *Betriebssicherheit* ist die Verwendung einfacher offener Düsen mit großen Bohrungen und die Vermeidung hoher Einspritzdrücke. Zu diesem Behufe wurde der Verbrennungsraum in besonderer Weise ausgebildet[1]. Ein Schnitt durch denselben ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Der Brennstoff wird knapp vor der oberen Totpunktlage des Kolbens durch eine einfache offene Einlochdüse eingespritzt, wobei der Brennstoffstrahl durch die der Düse gegenüberliegende Hauptbohrung der Vorkammer auf eine am Kolben angeordnete Prallfläche auftrifft. Hierdurch wird der Brennstoff tellerartig in dem Luftinhalt des scheibenförmigen Verbrennungsraumes gleichmäßig verteilt. Durch diese Anordnung wird die verteilende Wirkung der Vorkammer durch diejenige der Prallfläche unterstützt, so daß die Arbeitsweise der Maschine als eine Vereinigung der Vorkammerwirkung mit der der direkten Einspritzung zu bezeichnen ist. Die zur guten Verbrennung notwendige Geschwindigkeit der Wirbelung in der Vorkammer sinkt hierbei ganz bedeutend unter die

[1] D R P ang. I 33, 338 I/46

sonst üblichen Werte. So beträgt die maximale Geschwindigkeit der in die Vorkammer einstromenden Luft bei einer Motortype von 2,13 dm^3 Hubraum und 1000 U/min etwa 170 m/s, die mittlere Geschwindigkeit etwa 100 m/s [2].

Die Einspritzorgane, Duse- und Brennstoffpumpe, haben eine besondere Ausbildung erhalten, die von den bekannten Ausfuhrungen stark abweicht und fur die kleine Dieselmaschine ganz besondere Vorzüge bietet. Die Brennstoffpumpe[3] wird im Gegensatz zu den ublichen Ausführungen nicht durch eine von der Kurbelwelle mittelbar angetriebene

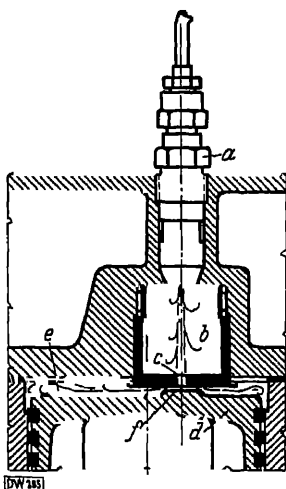



Abb. 1. Verbrennungsraum und Brennstoffeinspritzung des Ganz-Jendrassik-Motors

a Düse, b Vorkammer, c mittlere Bohrung der Vorkammer, d Kolben, e scheibenförmiger Raum zwischen Kolben und Zylinderdeckel, f Prallfläche am Kolben

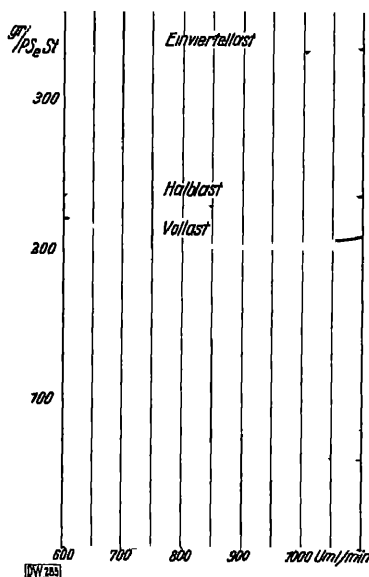



Abb 2 Brennstoffverbrauch eines zweizylindrigen Motors bei verschiedenen Drehzahlen unter Belastung durch konstante Drehmomente Leistung 24 PS bei 1000 U/min

Nocke zwangläufig betatigt Es wird vielmehr zu diesem Zwecke eine Feder verwendet, die im Augenblicke des Einspritzens mittels eines Hebels und Nockens ausgelost wird. Auf diese Feder stutzt sich unter dem Drucke einer schwächeren Feder der Kolben der Brennstoffpumpe ab, der im Augenblick des Auslosens der Einspritzfeder vorgestoßen wird und den Druckhub vollzieht.

Durch die beschriebenen Maßnahmen ist die Verwendung einer offenen Einlochduse von verhaltnismaßig großem Bohrungsdurchmesser ermöglicht, da einerseits die Zerstaubung mit Rücksicht auf die Vorkammerwirkung nicht die Feinheit der Druckeinspritzmaschinen er-

[2] Nach Prof Dr-Ing *K Neumann* beträgt die maximale Einströmgeschwindigkeit bei einer ausgeführten Maschine 375 m/s (Forschungsarbeiten a d Geb d Ingenieurwesens Nr 309)
[3] D R P ang I 36, 312 I/46 C²

reichen muß, andererseits der Pumpenkolben der großen Düsenbohrung entsprechend von der Feder genügend rasch vorgestoßen wird, um den nötigen Einspritzdruck zu erzeugen. Der Durchmesser der Düsenbohrung beträgt bei der erwähnten Motortype von 2,13 l Zylinder-Hubraum und 1000 U/min rd. 1 mm, bei einer Maschine von 3,26 l Zylinder-Hubraum $1^1/_4$ mm. Bohrungen solcher Großenordnung sind bei den Düsen von Vergasern allgemein üblich. Auf die große Bedeutung der Anwendung solcher Bohrungen für Klein-Dieselmaschinen wurde bereits oben hingewiesen. Der Druck, auf welche die Einspritzfeder eingestellt wird, beträgt etwa 150 kg/cm², hiervon entfällt auf die Einspritzung selbst ein Überdruck von ca. 80 kg/cm². Somit können höhere Drücke als die durch die Einstellung der Feder gegebenen in der Pumpe unter keinen Umständen auftreten.

Um den ganzen Verlauf der Einspritzung den Anforderungen *der guten Verbrennung* anzupassen und um das überaus ungünstige Nachtropfen zu vermeiden, wurde eine sorgfältige Abstimmung der Einspritzorgane, wie Einspritzdruck, Druckrohrdurchmesser, Druckventilbelastung und Düsenbohrung, vorgenommen. Das Wesen dieser Abstimmung besteht darin, die ungünstige Wirkung der Kompressionsräume der Pumpe und der Druckleitung dadurch auszuschalten, daß durch entsprechende Bemessung der genannten Einspritzorgane eine Reflexion der von der Pumpe nach der Düse ausgesandten Druckwellen an der Düse verhindert wird. Bei richtiger Abstimmung wirkt die Düse so wie ein unendlich langes Einspritzrohr, und eine Reflexion von Druckwellen findet nicht statt.

Bei der federbetätigten Brennstoffpumpe läßt sich die Abstimmung derartig zufriedenstellend durchführen, daß die Brennstoffpumpe keiner Überströmöffnungen bedarf. Die Fördermenge der Pumpe wird durch Veränderung des Kolbenhubes geregelt.

Durch die beschriebenen Maßnahmen erscheint somit die Gewähr größtmöglicher Betriebssicherheit geboten.

ad 2. Da die Einspritzung des Brennstoffes in die Maschine durch die Wirkung einer ausgelösten Feder erfolgt, ist sie von der *Drehzahl der Maschine unabhängig*. Die richtige Abstimmung der einzelnen Einspritzorgane aufeinander hat eine bestimmte Geschwindigkeit des Pumpenkolbens zur Voraussetzung. Diese Geschwindigkeit wird im vorliegenden Falle durch die Federspannung bestimmt, so daß tatsächlich die Einspritzung bei allen Drehzahlen der Maschine, sowohl beim Ankurbeln als auch bei voller Drehzahl, von gleicher Beschaffenheit ist Die Verbrennung erfolgt daher bei allen Drehzahlen in möglichst günstiger Weise Abb 2 zeigt die Größe des spezifischen Brennstoffverbrauches eines zweizylindrigen Serienmotors in Abhängigkeit von der Drehzahl bei Belastung mit verschiedenen Drehmomenten. Dem Diagramm ist zu entnehmen, daß bei Änderung der Drehzahl von 600 bis 1100 U/min der günstigste Wert des Brennstoffverbrauches bloß um 8 % ansteigt, ein Umstand, der großtenteils auf den erörterten Vorteil der unveränderlich guten Zerstaubung zurückzuführen ist Der geringe Mehrverbrauch der bei kleineren Drehzahlen auftritt, und der

praktisch genommen fur jede Art von Betrieb, insbesondere aber auch für den Fahrzeugbetrieb belanglos ist, ist darauf zurückzuführen, daß die Bohrungen der Vorkammer selbst naturgemaß nicht fur alle Betriebszustande gleich günstig wirken.

Die Maschine arbeitet mit klarem Auspuff, der nur bei Überlast sichtbar wird. Sie laßt sich vorzüglich regeln, die Beschleunigung bei plötzlicher Vermehrung der Ölzufuhr erfolgt äußerst rasch. Die Drehzahl im Leerlauf kann bis unter 300 U/min herabgemindert werden, ohne daß Aussetzer eintreten. Der Gang ist gleichmaßig und ruhig.

ad 3. Um endlich das Anlassen der kalten Maschine ohne thermische Hilfsmittel zu ermöglichen, muß die entworfene Maschine folgenden Bedingungen genugen:

a. Die am Ende der Kompression im Zylinder enthaltene Verbrennungsluft muß eine entsprechend hohe Temperatur besitzen, die, wie die Erfahrungen lehren, durch Erhöhung des Kompressionsverhaltnisses allein nicht erreichbar ist.

b. Der eingespritzte Brennstoff darf nach Moglichkeit nicht mit den kalten Wanden in Berührung kommen, sondern muß moglichst fein in der heißen Luft verteilt werden, um aus derselben Warme aufnehmen zu konnen.

c. Die Erwarmung der einzelnen Tröpfchen muß in moglichst kurzer Zeit erfolgen, und wahrend derselben muß der Brennstoff in der heißen Luft schwebend erhalten bleiben, demnach muß fur eine entsprechende genügend feine Zerstaubung gesorgt werden.

ad a. Die Anwendung eines neuartigen Anlaßverfahrens[4] bewirkt, daß die während des Kompressionshubes durch die Wandungen abgeführte Warme auf rein mechanischem Wege ersetzt wird. Dieses Verfahren bedient sich der bekannten physikalischen Erscheinung, daß Gase, die unter Drucksteigerung in ein Gefaß stromen, stark erhitzt werden. Die im Idealfall mogliche Temperaturerhohung ist am größten, wenn das Gefaß, in welches die Gase strömen, vorher evakuiert war, und wird für diesen Fall durch den Ausdruck $T_1 = \frac{C_p}{C_v} T_0$ wiedergegeben.

Hierbei ist T_0 die absolute Temperatur des einstromenden Gases, T_1 die absolute Endtemperatur nach erfolgter Einstromung, C_p und C_v bedeuten die spezifischen Wärmen bei konstantem Druck bzw. bei konstantem Volumen. Für Luft ist $C_p/C_v = 1{,}4$. Wird also beispielsweise $T_0 = 0°\,C = 273°$ abs. angenommen, dann wird $T_1 = 1{,}4 \cdot 273° = 382°$ abs. $= 110°\,C$, was eine ganz erhebliche Temperaturzunahme darstellt.

Diese Erscheinung wird in der Maschine in der Weise ausgenützt, daß die Saugventile während des Anlassens mittels eines besonderen Nockensatzes nicht am Anfang des Saughubes, sondern erst gegen Ende desselben geöffnet werden. Im ersten Teil des Saughubes wird hierdurch im Arbeitszylinder ein hoher Unterdruck hergestellt, der nach Öffnen des Ventils durch die einströmende Luft vernichtet wird Da die fur die

[4] D R P. 485991

Gultigkeit der obigen Formel bestehenden Bedingungen praktisch selbstverstandlich nicht zu verwirklichen sind, erreicht die tatsachlich eintretende Temperaturerhöhung nicht den oben bezeichneten Wert, doch ist sie weitaus genügend, um die Zundung des am Ende des Kompressionshubes eingespritzten Brennstoffes sicherzustellen[5]. Nach einem kurzen Leerlauf von ca. $1^1/_2$ min wird die Maschine schon genugend warm um auf die normale Steuerung der Saugventile umgeschaltet werden zu konnen.

ad b. Die oben beschriebene, besondere Ausbildung des Verbrennungsraumes und der Einspritzung bringt es mit sich, daß der Brennstoff beim Anlassen durch die Wirkung der Prallflache in dem scheibenformigen Raume zwischen Kolben und Zylinderdeckel verteilt wird und nicht an die kalten Wandungen gelangt Die in diesem Raume befindliche Luft wird wahrend des Kompressionshubes in weitaus geringerem Maße gekuhlt wie der Inhalt der Vorkammer und somit zur Erwarmung der Öltropfen in erster Linie herangezogen, wodurch das Zustandekommen der ersten Zundungen gefordert wird.

ad c. Die zur Erzielung der ersten Zundungen notwendige gute Zerstäubung erscheint endlich durch die bereits erörterte, von der Motordrehzahl unabhängige Art der Einspritzung sichergestellt, da, wie schon oben erwähnt, die Feder, welche den Kolben der Brennstoffpumpe betatigt, beim Ankurbeln in gleicher Weise wirkt wie bei voller Drehzahl.

Die kennzeichnenden Merkmale der beschriebenen Bauart erganzen einander, wie ersichtlich ist, mit folgerichtiger Notwendigkeit und greifen ihre Wirkungen zwangsläufig ineinander. Aus den obigen Auseinandersetzungen ist zu entnehmen, daß die Maschine, was Betriebssicherheit, Gute der Verbrennung und Anwendung geringer Pumpendrücke betrifft, die Vorzüge der Vorkammerwirkung voll aufweist. Wahrend der letztere Umstand im allgemeinen eine Vereinfachung der Düsenbauart nicht mit sich bringt, gestattet die besondere Ausbildung des Verbrennungsraumes die Anwendung absolut einfacher und betriebssicherer Dusen mit großer Bohrung.

Trotz der Anordnung einer Vorkammer und der Anwendung großer Dusenbohrungen weist die Maschine aber auch jene Vorzuge bezüglich des Anlassens auf, die Maschinen mit einheitlich gestalteten Brennraumen zukommen. Sie übertrifft in dieser Beziehung aber auch die Druckeinspritzmaschinen mit kleinen Hubraumen, welche besondere Hilfsmittel zu diesem Zwecke nicht entbehren können. Hohe Kompressionsdrücke erweisen sich als unnotig und der Motor arbeitet mit einem Kompressions-Volumenverhaltnis von 12,4, entsprechend einem Kompressionsdruck von 30 at

Abb. 3 und 3a sind die Schnittzeichnungen einer sechszylindrigen Fahrzeugmaschine für Triebwagenantrieb Aus dieser Zeichnung ist die kraftige, widerstandsfähige Bauart der einzelnen Bauteile erkennbar. Auf die Abdampfung der in langeren Wellen von rasch laufenden Verbrennungskraftmaschinen haufig fuhlbar werdenden Drehschwingungen

[5] Bezüglich der Große der Temperatursteigerung im allgemeinen Falle sei auf den Aufsatz des Verfassers verwiesen V D I 1929, S 1027

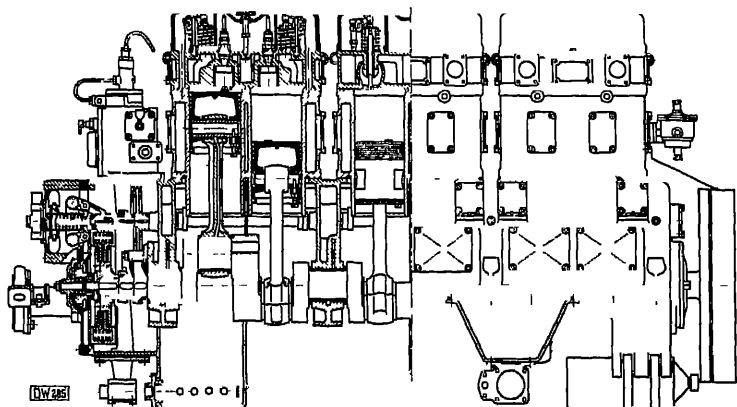



Abb. 3 Schnittzeichnung des Ganz-Jendrassik-Motors für Eisenbahn-Triebwagen. Leistung 110 PS bei 1000 U/min

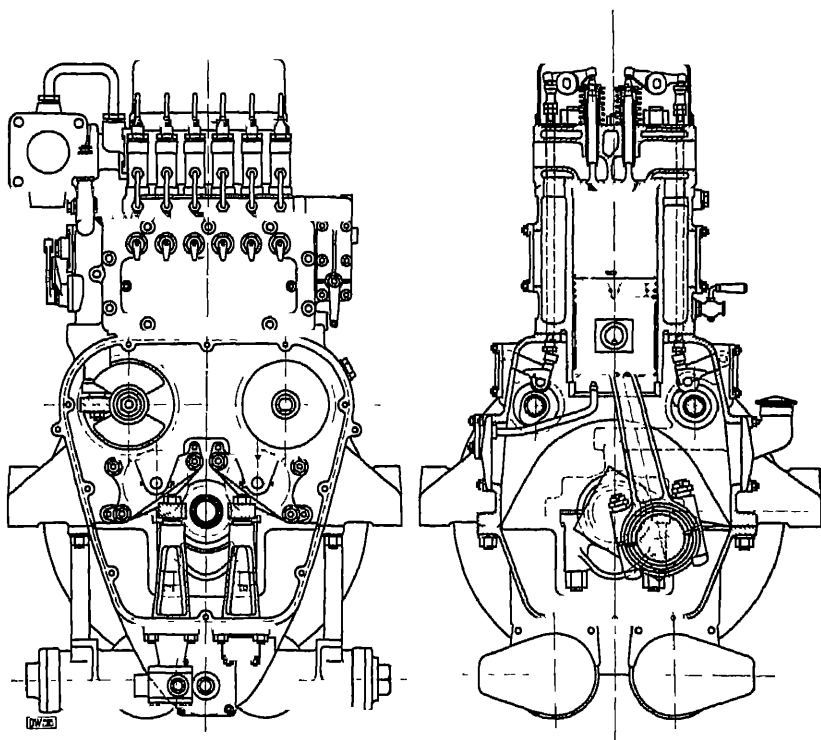



Abb. 3a Schnittzeichnung des Ganz-Jendrassik-Motors für Eisenbahn-Triebwagen. Leistung 110 PS bei 1000 U/min

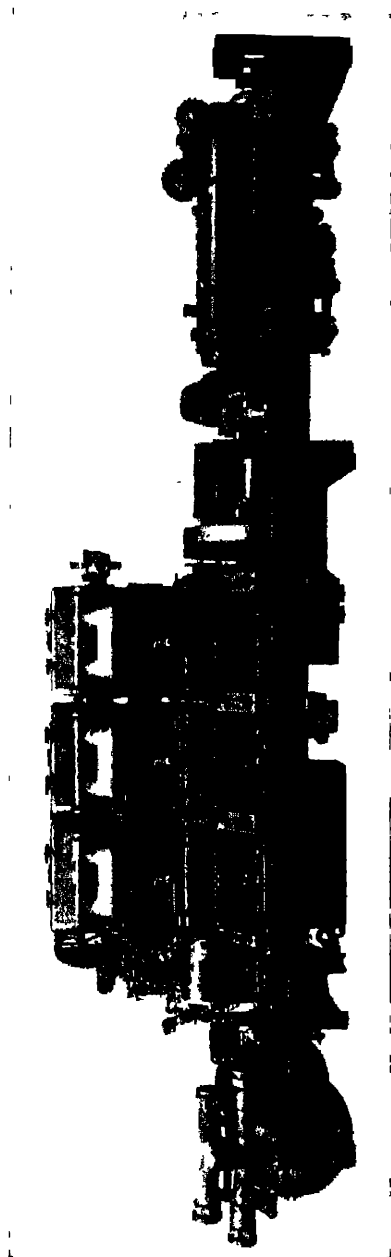



Abb. 4. Ansicht eines Ganz-Jendrassik-Motors für Eisenbahn-Triebwagen mit Wechselgetriebe Leistung 72 PS bei 1000 U/min.

ist durch den Einbau eines wirksamen Dampfers Vorsorge getroffen Trotz kraftigster Bauart ist das Gewicht der Maschinen gering. Es beträgt bei einer Leistung von 110 PS und 1000 U/min 13,5 kg/PS.

Wie die Schnittzeichnungen erkennen lassen, weist der Aufbau des Motors keinerlei Bauteile auf, die in ihrer Anordnung kostspieliger waren als die eines normalen Vergasermotors gleicher Leistung und Drehzahl. Außergewohnlich hohe Beanspruchungen der einzelnen Triebwerksteile sind nirgends zu gewartigen Somit sind die Baukosten der Maschine auch keineswegs übertrieben hoch und ubersteigen nur um einen geringen Betrag die Baukosten einer gleich starken Vergasermaschine. Dieser Mehrbetrag wird aber, was die Gesamtökonomie betrifft, durch die wesentlich mehr ins Gewicht fallende Ersparnis an Brennstoffkosten bei weitem ausgeglichen.

Motoren der beschriebenen Bauart sind bereits in mehrfacher Ausfuhrung unter schwierigen Verhältnissen im Betriebe erprobt. Mehrzylindrige Maschinen haben sich im Fahrzeugbetriebe aufs beste bewährt und sind zur Zeit bereits bei einer Anzahl von Eisenbahntriebwagen teils der Kgl. Ung. Staatsbahnen, teils der Donau-Save-Adria-Bahn in Verwendung. In Abb. 4 ist die Ansicht einer sechszylindrigen Fahrzeugmaschine im Zusammenbau mit dem Geschwindigkeits-Wechselgetriebe dargestellt.

Auch im Schiffsbetrieb stehen bereits eine Anzahl von Einheiten in zufriedenstellender Weise in Dienst. Ebenso geeignet haben sich diese Maschinen zum Betriebe kleiner Lichtzentralen sowie zum Antriebe von kleinen Pumpwerken usw. erwiesen.

Summary

In thinly populated countries of preponderatingly agrarian character it is advisable to employ decentralised generation of power and to rationalise passenger traffic by the employment of self-propelled vehicles, driven by internal combustion engines. The internal combustion engines employed for this purpose will have to satisfy the conditions of absolute reliability, of a high degree of economy of operation as well as certain special requirements.

Gasoline engines satisfy most of these conditions, but carry the serious drawback of necessitating the employment of a costly and dangerous kind of fuel. It appears therefore advisable to replace these engines by high-speed solid injection Diesel engines, and an advanced stage of development has indeed been reached in the design of such engines

Nevertheless the existing types of engines of this kind still labour under a number of disadvantages. Engines with direct injection require injection jets of extremely fine bore and high injection pressure, as a result of which the pumps and their driving gear are subjected to high stresses, which may cause breakdowns If simple open jets are employed, the fuel injection is not independent of the number of r. p. m. of the engine Closed nozzles are considerably more complicated and likewise very delicate.

Engines with auxiliary ignition chambers are on the whole of a greater reliability in practical operation, but these engines cannot be started cold without employing certain special devices which are not suitable for employment on vehicles. Fuel regulation is effected in the case of open jets by providing relief openings or relief valves in the fuel pump which are also highly delicate devices. In the

case of closed jets fuel control is mostly effected in a simple manner by altering the stroke of the fuel pump piston.

In engines of the Ganz-Jendrassik type absolute reliability is realised by employing simple open jets with large bores[6]. This is rendered possible by a specially designed combustion space which combines the auxiliary chamber effect and that of direct injection The pump itself is operated independently of the speed of rotation of the engine, by a spring which possesses sufficient tension to produce the necessary injection pressure, but on the other hand prevents the pump and the driving gear being subjected to any higher stresses than those which correspond to this tension

Another result of this design is that the atomisation of the fuel and the correct adjustment of the various injection devices in their mutual correlation are independent of the speed of the engine, so that the engine will operate in an equally efficient and economical manner at all speeds

A special method of starting based on a wellknown physical phenomenon ensures a sufficiently high temperature at the end of the compression stroke of the first revolutions to enable ignition to be effected in a reliable manner. Further factors materially contributing to this result are the special shape of the combustion space owing to which the particles of fuel do not come in contact with the cold walls but are distributed as finely atomised as possible in the hot air, and further by the method of injection employed, which operates, during starting also, in as efficient a manner as at full speed.

It is evident from the foregoing that Ganz-Jendrassik engines unite the advantages of other types of engines whilst avoiding their drawbacks. The cost of these engines only slightly exceeds that of a gasoline engine of the same HP and r. p. m , the slight difference being abundantly balanced, with regard to total economy, by the saving in the cost of fuel. These engines, which have already been installed in considerable numbers, have given excellent results in actual service.

[6] The diameter of bore exceeds 1 mm

Deutschland

Die Wirtschaftlichkeit schnellaufender Dieselmotoren in Verkehrsfahrzeugen

Reichswehrministerium Abteilung Marineleitung

Dipl.-Ing. F. Schultz und Mitarbeiter

Arbeitsbedingungen

Das staunenerregende Vordringen des Dieselmotors auf allen Gebieten der Energieerzeugung beschrankte sich bislang bei den Verkehrsfahrzeugen auf schwere Personen- und Güterschiffe. Alle ubrigen Fahrzeugarten (leichte Boote, Lokomotiven, Triebwagen, Schlepper, Lastwagen, Omnibusse, Flugzeuge, Luftschiffe) hielten an der Dampfmaschine oder am Vergasermotor fest, obwohl seit Jahren auch hier die Einführung des Dieselmotors gewünscht wird, da dieser durch besonders sparsame Verarbeitung billiger Schwerole sich allen anderen Kraftmaschinen gegenüber als wirtschaftlich weit überlegen erweist. Diese Zurückhaltung rührt daher, daß die meisten Verkehrsfahrzeuge — deren Entwicklung großenteils erst durch den Bau hochleistender und leichter Verbrennungsmotoren möglich wurde — sehr leichte, schnellaufende Motoren verlangen. Der bisherige Dieselmotor war langsamlaufend und schwer gebaut. Erst aus der Vereinigung langjähriger Wagenmotorerfahrungen mit neueren Erkenntnissen im Dieselbau konnte in jüngster Zeit, von Deutschland ausgehend, ein vollwertiger Fahrzeug-Dieselmotor entstehen.

Die Anpassung des Dieselmotors an die Bedingungen im Fahrzeugbetrieb wurde erschwert durch die standige lebhafte *Weiterentwicklung* der verschiedenen *Verkehrsfahrzeuge* selbst, mit denen sich naturlich auch deren Antriebsmaschinen fortentwickelten Zahlentafel 1 gewahrt einen gewissen Einblick in diese Entwicklung. Soweit möglich, wurden hier einzelne Fahrzeugtypen alterer und neuerer Bauart zum Vergleich nebeneinander gestellt. Bei den Lastwagen sind die Hochstgeschwindigkeiten, die Beschleunigung, die Anforderungen hinsichtlich langsamer Fahrt im hochsten Gang in den vergangenen 10 Jahren gewaltig gestiegen Dies trifft in erhohtem Maße auf die Omnibusse zu, wo außerdem noch gerauschloser Gang und Erschütterungsfreiheit gefordert werden. Bei den Schleppern wurden auch Ackerschlepper mitaufgenommen, da die als Zugmittel dienenden Straßentypen meist unter kleinen Veranderungen auf dem Felde Verwendung finden. Hier sind deutliche Fortschritte, besonders in bezug auf das Leergewicht, zu erkennen.

Das neuzeitliche Flugzeug zeigt höhere Reisegeschwindigkeit, größere Nutzlast, geringeren spezifischen Brennstoffverbrauch, größere Reichweite. Die Motorlokomotive, die in Zahlentafel 1 fehlt, entwickelt sich zu immer höheren Leistungen, größerer Einfachheit und möglichst unmittelbarer Übertragung. In der Schiffahrt zwingt bei Personen- und Frachtschiffen die wachsende Reisegeschwindigkeit zu immer höheren Leistungen, wobei von dem wertvollen Nutzgewicht und dem bezahlten Nutzraum möglichst wenig geopfert werden soll. Für Sonderzwecke werden ungewöhnlich schnelle oder zum Befahren von seichten Flüssen ganz flachgehende Boote verlangt, die sich nur mit sehr leichten und gleichzeitig starken Motoren bauen lassen.

Wie verschiedenartig auch die Fahrzeuge und ihre Betriebsbedingungen sind, sie weisen den Motorenbau doch alle in eine ziemlich eindeutige Richtung: Verminderung des Gewichts und des beanspruchten Raumes, Steigerung der Literleistung, große Geschmeidigkeit.

Die *bisherigen Antriebsmaschinen* haben sich der Entwicklung der Verkehrsfahrzeuge gut angepaßt (siehe Zahlentafel 2, Spalte 1 bis 6); nur in bezug auf Wirtschaftlichkeit haben sie nicht befriedigt. Die Dampfmaschine zeigt eine große Überlastungsfähigkeit, Unempfindlichkeit gegen Belastungsstöße, sehr hohes Drehmoment bei niedrigster Drehzahl, große Geschmeidigkeit und starkes Beschleunigungsvermögen. Infolge ihrer einfachen Bauart ist sie sehr unempfindlich gegen Erschütterungen sowie gegen nachlässige Bedienung. Dem stehen als Nachteile gegenüber: Empfindlichkeit des Kessels, Anheizzeit und Unwirtschaftlichkeit des Betriebes. Der Vergasermotor für leichte Brennstoffe ist sehr hoch entwickelt hinsichtlich niedrigen Gewichtes, geringen Raumbedarfs und gleichmäßig ruhigen Ganges. Sein Betrieb ist aber teuer und seine Brennstoffe feuergefährlich.

So ist es vor allem die Notwendigkeit zur Sparsamkeit, unter deren Druck sich das Verlangen nach dem wirtschaftlicheren *Dieselbetrieb* geltend machte. Der langsamlaufende Dieselmotor entspricht zwar schon seit Jahren in bezug auf Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit den höchsten Anforderungen, scheidet aber in fast allen Fällen wegen zu hohen Gewichtes aus. Sollte er sich also zum Fahrzeugmotor entwickeln, so mußten folgende Bedingungen erfüllt werden:

1. Billigkeit in Anschaffung und Betrieb	Betriebskosten, Motorpreis.
2. Hohe Leistung bei geringstem Gewicht und kleinstem Raumbedarf	Hochleistung, Schnellauf, Leichtbau.
3 Große Geschmeidigkeit bei allen Drehzahlen und Belastungsstoßen	Regelbereich, Zugzähigkeit, Anlassen aus dem Kalten.
4. Zuverlässigkeit	Betriebssicherheit, geringe Instandhaltungskosten.

5. Fehlen unliebsamer Nebenerscheinungen (Erschütterungen, Geräusch, Rußen, Geruch, Feuergefährlichkeit)

Zahlentafel 1. *Entwicklung der Verkehrsfahrzeuge*

	Beispiel Nr		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
1	Fahrzeugart		Kraftwagen									Straßenschlepper			Flugzeuge	
2	Baumuster		MAN				Büssing		Daimler-Benz			Deutz	MAN	Daiml.-Benz	Junkers	
3	Baujahr		1919	1926	1927	1928	1919	1929	1919	1929	1929	1929	1929	1929	1919	1929
4	Verwendungszweck		Lastwagen		Omnibus		Lastw	Omnib.	Lastwagen			für Transporte			Verkehrslimousine 6 Gäste u Gepäck	
5	Bemerkungen		Vergaser	Verg	Verg	Verg	Verg	Verg	Verg.	Verg.	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Vergaser	
6	Nutzlast	t	3,5	3,5	4,5	4,5	5	5	5	7	7	12	15	20 (?)	0,74	1,225
7	Leergewicht (trocken)	t	4,02	4,2	6,3	6,8	—	4	4,4	5,5	4,7	3,7	?	3,2	1,09	1,47
8	Nutzlast : Leergewicht		0,87	0,83	0,72	0,66	—	1,25	1,13	1,56	1,49	3,25	?	6 25	0,68	0,83
9	Betriebshöchstgeschwindigkeit	km/h	28	36	38	50	18	40	22	50	40	15	15	12,3	150	175
10	Höchstgeschw × Nutzlast	km × t/h	98	126	171	225	90	200	110	350	280	180	225	246	111	215
11	Motorleistung	PS_e	35	60	60	100	40	90	55	100	70	30	35	26	240	310
12	Motorleistung für 1 t Nutzlast	PS_e/t	10	17,2	13,3	22,2	8	18	11	14,3	10	2,5	2,34	1,3	324	253
13	$\frac{\text{Motorleistung}}{\text{Höchstgeschw.} \times \text{Nutzl}}$	PS_e/kmt	0,36	0,48	0,35	0,44	0,44	0,45	0,5	0,29	0,25	0,16	0,15	0,105	2,22	1,44
14	Reichweite bei voll Nutzlast	km	—	450	825	310	—	—	430	920	880	—	—	—	600[1]	2875[1]
15	Reichweite für 1 t Nutzlast	km/t	—	129	72	69	—	—	—	—	—	—	—	—	?	?
16	Max. Transportleistung (Reichweite × Nutzl.)	t × km	—	1550	1460	1390	—	—	2150	6440	6160	—	—	—	308	970
17	Brennstoffverbrauch	kg/100 km	—	25	26	32	—	29	34	29	23	25 Gasöl	?	20	28[2]	80[2]
18	Brennstoffverbr	kg/100 tkm	—	7,1	5,8	7,1	—	4,8	6,8	4,15	3,3	2,08	—	1,0	15[2]	11[2]
19	Brennstoffverbr /100 km u Höchstgeschw × Nutzlast	kg/100 tkm	—	0,195	0,152	0,142	—	0,145	0,309	0,083	0,082	0,139	—	—	0,1[2]	0,06[2]

[1] Bei 400 kg Nutzlast [2] Einschließlich Schmieröl.

XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI	XXII	XXIII	XXIV	XXV	Beispiel Nr	
Flugzeuge				Ackerschlepper							Fahrzeugart	1
	Rohrbach-Romar	Handley-Page	Farman	Deutz	Hansa-Lloyd	Hanomag	IHC	Deutz	MWM	Daiml.-Benz	Baumuster	2
1929	1928	1919	1929	1919	1919	1929	1929	1929	1929	1929	Baujahr	3
Frachtflugzeug	Verkehrsflugboot 12 Gäste u Gepäck	?	?	Bodenbearbeitung aller Art							Verwendungszweck	4
Vergaser	Vergaser	?	?	Vergaser Benzin	Vergaser Benzin	Vergaser Petrol	Vergaser Petrol	Diesel	Diesel	Diesel m Vorkammer	Bemerkungen	5
1,525	1,0	3,15	4,5	2,30	2,0	1,85	1,20	1,50	1,86	1,4	Größte Zugkraft im niedrigsten Gang t	6
1,48	11,6(?)	6,75	7,15	3,90	3,8)	1,90	1,85	2,30	?	2,56	Leergewicht (trocken) t	7
1,03	0,086	0,47	0,63	0,59	0,52	0,71	0,65	0,65	?	0,55	Zugkraft Leergewicht	8
175	198	165	190	2,7	2,7	2	3,2	3,2	3,6	3,1	Geschwindigkeit im kleinsten Gang km/h	9
267	198	520	855	6,2	5,4	2,7	3,84	4,8	6,7 (?)	4,35	Geschwindigkeit × Zugkraft km/t	10
310	1650	1600	1800	40	35	32	32	30	35	26	Motorleistung PS_e	11
208	1650	510	400	17,4	17,5	23,7	26,7	20	18,8	18,6	Motorleistung für 1 t Zugkraft PS_e/t	12
1,16	8,3	3,1	2,1	6,45	6,45	11,85	8,34	6,25	5,2 (?)	5,9	$\frac{\text{Motorleistung}}{\text{Geschwindigkeit} \times \text{Zugkraft}}$ $PS_e/km \times t$	13
4100[1]	3900[3]	—	—	1,2	1,2	0,9	0,8	0,8—1	1—1,3	0,8	Pflugleistung bei Tiefpflügen Morgen/h	14
?	3900[1]	—	—	1,8	1,7	1,5	1,5	1—1,5	1,3—1,5	1,2	Pflugleistung bei Saatpflügen Morgen/h	15
2200	3900	—	—	33,3	29,2	35,6	40	33,3	30,5	26	Motorleistung für 1 Morgen Tiefpflügen PS_e/Mg	16
3[2]	148	—	—	6	6	6—7	7—8	4—5	3,5—4,5	5,1	Brennstoffverbrauch bei Tiefpflügen kg/Morgen	17
10[2]	148	—	—	5	5	5	6	3—4	3—3,5	3	Brennstoffverbrauch bei Saatpflügen kg/Morgen	18
0,057[2]	0,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Brennstoffverbrauch/100 km u Hochstgeschw × Nutzlast kg/100 tkm	19

[1] Bei 400 kg Nutzlast [2] Einschließlich Schmieröl [3] Bei 1 t Nutzlast

Zahlentafel 2. *Entwicklung und Stand der Fahrzeugmotoren*

	Beispiel Nr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Motorart	Kraftwagen-Motoren						Flugmotoren				Kraftw.-Diesel-Motoren	
2	Baumuster	MAN	MAN	Büssing	Büssing	Daimler-Benz	Daimler-Benz	Junkers	B.M.W.	Jupiter	Armstrong Siddeley	Deutz	MAN
3	Baujahr	1915	1929	1919	1929	1919	1929	1929	—	—	1929	1929	1928
4	Bemerkungen	Lastwagen und Omnibusse						Reihen wassergekühlt	V-Motor wassergekühlt	Sternmotor luftgekühlt	Sternmotor luftgekühlt	Kraftwagen, Trekker, Lokomotiven, Triebwagen, Barkassen	
5	Höchstleistung bei höchster Betriebsdrehzahl PSe	35	100	55	110	45	100	310	640	525	110	80	95
6	Zugehörige Drehzahl U/Min	1200	1800	850	1200	1000	2000	1500	1650	2200	2350	1250	1400
7	Vergleichswert der Leistung $\frac{Ne \cdot 1000}{n}$ PSe	29,2	55,5	64,5	91,5	45	50	206	388	238	47	64	68
8	Taktverfahren	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt
9	Verbrennungsverfahren	Vergaser	Vergaser	Vergaser	Vergaser	Vergaser	Vergaser	Vergaser	Vergaser	Vergaser	Vergaser	Diesel	Diesel
10	Zylinderzahl	4	6	4	6	4	6	6	12	?	5	6	6
11	Zylinder-Durchmesser mm	110	110	132	125	110	105	160	—	—	108	115	120
12	Hub mm	160	165	160	160	165	150	190	—	—	114,3	170	180
13	Gesamtes Hubvolumen l	6,08	9,41	8,75	11,78	6,27	7,8	23	46	28,7	5,23	10,56	12,2
14	Motorgewicht kg	405	580	485	640	385	450	830	545	400	114	720	980
15	Raum über alles m³	0,6	1,2	—	—	0,72	1,07	1,20	1,78	2,4	0,8	0,88	1,16
16	$Ne \cdot n^2$ $10^6 x$	50,5	325	40	158	45	400	700	1740	2540	610	125	187
17	Schnellauf	schnell	sehr schnell	mittel	schnell	mittel	sehr schnell	sehr schnell	sehr schnell	sehr schnell	sehr schnell	schnell	sehr schnell
18	Brennstoffverbrauch g/PSeh	255	245	270	235	210	230	220+10	180+10	240+17	—	210	205
19	Mittl. Effektivdruck at	5,3	6,6	5,65	7	6,45	6,80	8,1	—	—	8,05	5,6	5,0
20	Literleistung PSe/l	5,75	10,6	6,3	9,4	7,2	12,8	13,5	14	16,3	21	7,6	7,7
21	Gewicht für 1 PS kg/PSe	11,6	5,8	8,8	5,8	8,5	4,5	1,1	0,85	0,76	1,03	9,0	10,3
22	Raum für 1 PS dm³/PSe	17,4	12	—	—	16,0	10,7	3,9	2,8	4,6	7,3	11	12,2
23	Länge für 1 PS mm/PSe	13,1	12	—	—	16,6	14	5,6	3,1	2,3	8,8	12,5	15,5
24	Höhe für 1 PS mm/PSe	25	12	—	—	26	14	3,9	1,65	2,7	8,6	12,7	12,6
25	Gewicht durch Vergleichswert kg/PSe	13,9	10,5	7,5	7,0	8,6	9	1,6	1,4	1,68	2,4	11,2	14,3
26	Raum durch Vergleichswert dm³/PSe	20	21,6	—	—	16	21,4	5,8	4,6	10,1	17	13,8	17,1
27	Höchste zu niedrigster Drehzahl	—	—	—	—	1200/820	2300/840	—	—	—	—	1250/350	1400/350
28	Drehmoment bei niedrigster Drehzahl in Prozent des höchsten Drehmomentes %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	95	100

XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI	XXII	XXIII	Beispiel Nr.	
Kraftwagen-Diesel-Motoren			Flugzeug-Dieselmotor.	Triebwagen-Dieselmotoren		Boots-Dieselmotoren					Motorart	1
Junkers	MWM	Daimler-Benz	Junkers	MAN	Maybach	Deutz	Deutz	MAN	MAN	Daimler-Benz	Baumuster	2
1928	1929	1929	1928	1928	?	1928	1929	1928	1928	1928	Baujahr	3
Kraftwagen, Trekker usw s XI, XII	Kraftw., Schlepper, Boote	Lastwag. und Omnibus	Flugzeuge	Triebwagen, Lokomotiven, Personenboote		Boote, Lokomotiven					Bemerkungen	4
70	85	70	700	180	150	290	950	865	600	64	Höchstleistung bei höchster Betriebsdrehzahl PSe	5
1400	1100	1300	1630	1000	1300	750	420	850	700	800	Zugehörige Drehzahl U/Min.	6
50	31,8	53,5	430	180	115	386	2265	430	860	80	Vergleichswert der Leistung $\frac{Ne \cdot 1000}{n}$ PSe	7
2 Takt	4 Takt	4 Takt	2 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	4 Takt	Taktverfahren	8
Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel m Lufteinöl	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Verbrennungsverfahren	9
3	3	6	6	6	6	6	6	6	6	4	Zylinderzahl	10
80	110	105	120	165	140	210	400	220	280	135	Zylinder-Durchmesser mm	11
144+96	165	165	210+210	220	180	280	440	320	380	200	Hub mm	12
3,6	4,67	8,55	28,5	28,2	16,7	58	832	73	140	11,4	Gesamtes Hubvolumen l	13
505	660	640	840	2080	1050	6500	25000	3900	6100	1800	Motorgewicht kg	14
0,77	—	1,24	1,4	2,07	1,55	4,9	21,2	3,5	4,25	1,25	Raum über alles m³	15
188	42,5	119	1860	180	254	163	168	264	295	41	$Ne \cdot n^2$ $10^6 x$	16
schnell	mittel	schnell	sehr schnell	schnell	sehr schnell	schnell	schnell	sehr schnell	sehr schnell	mittel	Schnellauf	17
195	180	200	170	200	195	185	175	175	175	210	Brennstoffverbrauch g/PSeh	18
6,2	6,1	5,65	6,8	5,8	6,8	5,7	6,1	5,3	5,5	6,3	Mittl Effektivdruck at	19
19,5	7,5	8,2	24,6	6,4	9	5	2,8	5,0	4,3	5,6	Literleistung PSe/l	20
7,2	18,7	11	1,2	11,5	7	22,5	26,4	10,7	10,1	20,4	Gewicht für 1 PS kg/PSe	21
11	11,5	17,6	2	11,5	10,4	17	28,6	9,6	9,7	19,5	Raum für 1 PS dm³/PSe	22
18	22	22,7	2,4	11,6	13,5	10,5	6,2	7,7	5,6	2,28	Länge für 1 PS mm/PSe	23
15	20	10,5	2,3	7,2	8,13	6	3,0	4,6	3,3	1,95	Höhe für 1 PS mm/PSe	24
10	20,7	12,1	1,96	11,5	9,1	16,9	11,0	9,1	7,1	19,0	Gewicht durch Vergleichswert kg/PSe	25
15,5	—	23,2	8,2	11,5	—	12,7	12,0	8,2	4,95	15,6	Raum durch Vergleichswert dm³/PSe	26
1400/190	1100/250	1300/300	1630/255	1100/300	1300/400	750/195	420/150	850/300	700/250	800/300	Höchste zu niedrigster Drehzahl	27
93	100	92,5	—	90	—	100	100	100	100	90	Drehmoment bei niedrigster Drehzahl in Prozent des höchsten Drehmomentes %	28

Erst nach mehr oder minder guter Erfüllung aller vorstehenden Forderungen wird ein schnellaufender Dieselmotor den Anspruch auf volle Eignung für den Fahrzeugbetrieb erheben dürfen. Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Fahrzeug-Dieselmotoren wäre demnach höchst unvollkommen, wollte sie sich lediglich auf die Brennstoffkosten oder auch nur auf die gesamten Betriebskosten[1], d. h. Brennstoff- oder Schmierölkosten einschl. Amortisation, Bedienung und Instandhaltung erstrecken. Es wird nicht möglich sein, die Gesamtwirtschaftlichkeit nur in Zahlen auszudrücken, sondern bei der Bewertung eines Fahrzeug-Dieselmotors werden auch alle Nebenerscheinungen, wie Betriebssicherheit, ständige Betriebsbereitschaft, Feuersicherheit des verwendeten Brennstoffs und des Betriebes selbst, störende Wirkungen des Auspuffs und die Fahreigenschaften, heranzuziehen sein. Im modernen Stadtverkehr, wo durch die Haltezeichen der Verkehrspolizisten sehr häufiges Anfahren nötig wird, ist ein Lastwagen nur dann voll wirtschaftlich, wenn er über ein großes Beschleunigungsvermögen verfügt. Auch wird ein Wagen, dessen Antriebsmotor durch schlechte Verbrennung zu dauernden Beschwerden und Polizeistrafen Veranlassung gibt, nicht als vollwirtschaftlich angesprochen werden können. Bei einem Flugzeugmotor wird bei der Bewertung neben anderen Gesichtspunkten der Feuersicherheit eine ganz hervorragende Bedeutung beizumessen sein. Die lange Anheizzeit der Dampflokomotive, die Notwendigkeit häufiger Kesselreparaturen in Gegenden mit schlechtem Wasser, oftmals der völlige Mangel an Wasser überhaupt, werden in vielen Fällen die Wirtschaftlichkeit der Dampflokomotive ungünstig beeinflussen. Es wird die Aufgabe dieses Berichtes sein, alle die *Gesamtwirtschaftlichkeit* beeinflussenden Gesichtspunkte herauszuheben, deren richtige Bewertung die ziemlich umfangreiche praktische Einführung schnellaufender Fahrzeug-Dieselmotoren in Deutschland heute schon möglich macht. Die wesentlichsten Gesichtspunkte hierfür sind mit den auf S. 359 aufgestellten Bedingungen gegeben.

Wirtschaftliche Bewertung

Inwieweit diese Bedingungen bei Vergaser- und Dieselmotoren erfüllt sind, zeigt zum Teil Zahlentafel 2, die neben neuzeitlichen Kraftwagen- und Flugzeugmotoren der Vergaserbauart die Mehrzahl der heute in Deutschland auf dem Markt befindlichen Kraftwagen-, Flugzeug- und Boots-Dieselmotoren enthält. Den Bedingungen des Fahrzeugbetriebs entsprechend ist diejenige höchste Leistung (Spalte 5) gewählt, die bei der höchstzulässigen Betriebsdrehzahl noch das volle Drehmoment ergibt. Für Dieselmotoren ist außerdem die Bedingung gestellt, daß diese Leistung mindestens 30 min durchgehalten wird. Um unabhängig von der Drehzahl die Motorengrößen miteinander vergleichen zu können, ist ein Vergleichswert der Leistung aufgestellt nach der Formel $\frac{N_e \cdot 1000}{n}$ (Spalte 7). Im Motorgewicht (Spalte 14) sind eingeschlossen: Schwung-

[1] Diese sind stets mit dem Wort „Gesamtkosten" gemeint

rad ohne Kupplung, Auspuffrohr am Motor, alle Brennstoff- und Ölfilter und die Anlaßelemente ohne die nachstehend angegebenen Teile Ausgeschlossen vom Gewicht sind: Brennstoffbehalter, Fundamentschrauben, Rohrleitungen vom und zum Motor, Anlaßflaschen, Anlaßkompressor, Anlaßbatterie, Anlaßmotor, Lichtmaschine. Der Raum über alles (Spalte 15) ergibt sich aus Multiplikation der außersten Abmessungen des Motors im Umfang des Motorengewichts ohne etwaige Wendegetriebe. In Spalte 28 ist angegeben, wie groß das Drehmoment bei der niedrigsten noch erreichbaren Drehzahl in Prozentteilen des bei der hochsten Drehzahl erreichten Drehmomentes ist. Es ist ausdrücklich zu betonen, daß Vergleiche der einzelnen Baumuster untereinander nur mit großer Vorsicht vorgenommen werden dürfen, da die Bewertungszahlen durch eine große Anzahl in der Zahlentafel nicht erwahnter Bedingungen, wie z. B. Verwendung von Leichtmetall oder Schwermetall, mitbeeinflußt werden Die Bewertungszahlen sollen nur einen Einblick gewahren, inwieweit heute schon schnellaufende Dieselmotoren sich den Werten schnellaufender Vergasermotoren angenahert haben.

Die überragende Stellung des Dieselmotors ist durch die Verwendungsmöglichkeit *billiger Brennstoffe* begründet. Nur bei wenigen der heute auf dem Markt befindlichen Fahrzeug-Dieselmotoren werden mit Rücksicht auf die Eigenheiten der betreffenden Bauart noch besondere, etwas teurere Sorten von Schweröl vorgeschrieben. Bei den meisten können alle billigen Schwerole verwendet werden, die man in Europa auch in ortsfesten Dieselmotoren verarbeitet. Zahlentafel 3 zeigt die heute gültigen Preise dieser Brennstoffsorten und außerdem Kohlen- und Leichtolpreise für verschiedene europaische Lander, umgerechnet in Reichsmark Sie enthalt ferner das Preisverhaltnis zwischen den in den betreffenden Ländern meist verwendeten billigsten Dieselölen (und zwar Ölen, die hinsichtlich Dünnflüssigkeit, Verkokungsrückstanden und anderen Eigentümlichkeiten als nicht schwierig bezeichnet werden) und den ubrigen Brennstoffen, ferner das Preisverhaltnis zwischen diesen Vergleichsbrennstoffen, bezogen auf 10000 kcal (18000 B T.U.). Hierbei ist Gasöl stets gleich 1 gesetzt. Hieraus ist zu ersehen, daß z. B. für England der Anreiz zum Übergang von Benzin- auf Dieselmotoren ganz besonders groß ist. Doch sind die Benzinpreise, absolut betrachtet, in allen europaischen Ländern so hoch, daß sich mit Recht überall der Wunsch nach Umstellung auf Dieselbetrieb geltend macht. Anders liegen die Verhaltnisse z B. in den Vereinigten Staaten, wo zwar das Preisverhaltnis zwischen Benzin und Dieselöl etwa dasselbe wie in Deutschland ist, wo aber die Benzin- und Dieselölpreise nur 60 bis 70% der deutschen betragen und, gemessen am Lebenshaltungsindex, so gering sind, daß beim Lastwagenbetrieb die Brennstoffkosten eine ganz verschwindende Rolle spielen. Sie werden hier nur bei standigem Dauerbetrieb unter hoher Belastung bedeutsam, was natürlich nicht ausschließt, daß andere Gesichtspunkte, wie z. B. bei Flugzeugen die Feuersicherheit, auf die Einfuhrung des Dieselmotors entscheidenden Einfluß haben können.

Die Sparsamkeit des Dieselbetriebs beschrankt sich aber nicht auf die Verwendung billiger Schweröle. Auch für den Fall, daß die viel-

Zahlentafel 3 *Brennstoffpreise in europaischen Ländern* (RM fur verzollte und versteuerte Ware September 1929)

	Beispiele	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
1	Land	Deutschland	Österreich	Belgien	Dänemark	England	Frankreich	Holland	Italien	Polen	Rumänien	Schweiz	Spanien	Tschechoslowakei	Jugoslawien	USA
2	Ort	Berlin	Wien	Brüssel	Kopenhagen	London	Paris	Rotterdam	Mailand	Warschau	Bukarest	Zürich	Madrid	Prag	Zagreb	Philadelphia
3	*Schweröl* Sorte	Gasöl	Gasöl	Gasöl	Dieselöl	Dieselol	Gasöl	Gasöl	Motol	Gasöl	Petroleum	Gasöl	Gasöl	Gasöl	Rohnaphtha	Diesel-Fueloil
4	Kleinbezug Kilopreis RM/100 kg	14,05	11,85	9,45	11,20	13,80	12,25	10,60	12,95	16,20	8,45	11,80	20,40	18,70	23,90	8,85
5	Kalorien Preis RM/10000 kcal	0,14	0,119	0,095	0,112	0,138	0,123	0,106	0,18	0,162	0,0845	0,118	0,20	0,187	0,24	0,089
6	Großbezug Kilopreis RM/100 kg	11,00	10,95	9,45	8,95	8,63	9,60	10,80	12,50	14,80	8,45	9,60	20,40	15,70	19,10	7,11
7	Kalorien Preis RM/10000 kcal	0,11	0,11	0,095	0,09	0,086	0,096	0,103	0,125	0,148	0,0845	0,096	0,20	0,157	0,19	0,071
8	*Autobenzin* Sorte	Dapolin	Motorenbenzin	Benzin	Benzin	—	Essence (Tourisme)	Benzin	Benzin	Benzin	Benzin	Benzin	Gasolina	Benzin	Benzin	Gasoline
9	Kleinbezug Kilopreis RM/100 kg	42,65	32,50	49,10	48,20	50,50	54,50	42,10	61,60	45,80	28,6)	51,20	56,00	37,80	73,90	30,00
10	Verhältnis 5.10	1.3,04	1 2,74	1·5,2	1·4,36	1 3,66	1:4,36	1 3,98	1 4,76	1.2,8	1 3,4	1 4,8	1 2,75	1 2,02	1 3,1	1 3,4
11	Kalorien Preis RM/10000 kcal	0,41	0,308	0,465	0,47	0,48	0,52	0,40	0,585	0,43	0,281	0,515	0,532	0,36	0,70	0,285
12	Verhältnis 6 12	1.2,89	1.2,59	1:4,9	1.4,2	1 3,48	1 4,22	1 3,76	1·4,5	1 2,66	1 3,3	1 4,56	1·2,66	1.1,92	1 2,93	1 3,2
13	Großbezug Kilopreis RM/100 kg	35,65	29,60	49,10	48,50	48,00	41,70	35,10	57,10	39,60	28,60	44,50	56,00	36,60	58,60	22,50
14	Verhältnis 7:14	1 3,25	1·2,7	1 4,9	1·4,88	1:5,56	1.4,35	1.3,41	1 4,57	1 2,77	1 3,4	1 4,04	1 2,75	1 2,33	1 3,07	1 3,16
15	Kalorien Preis RM/10000 kcal	0,34	0,281	0,465	0,413	0,456	0,398	0,334	0,583	0,376	0,281	0,423	0,532	0,348	0,556	0,214
16	Verhältnis 8 16	1 3,09	1 2,55	1·4,9	1 4,6	1.5,3	1 4,15	1 3,24	1 4,26	1 2,63	1 3,3	1 4,4	1 2,66	1 2,22	1 2,93	1 3
17	*Dampfkesselkohle* Sorte	Oberschl Kohle	Obschl Kohle	Kesselkohle	Kesselkohle	Kesselkohle	Kesselkohle	Kesselkohle	Kesselkohle	Kesselnuß	—[1]	Saar-Stck. K.	Carbon Brikets	Kesselkohle	Kohle	Hard Pea Coal
18	Kilopreis RM/100 kg	3,80	3,93	2,46	3,36	2,86	2,82	2,36	3,51	1,66	—	4,65	5,90	1,68	2,94	2,96
19	Verhältnis 7 19	1.0,35	1.0,36	1 0,26	1 0,376	1.0,332	1.0,242	1.0,23	1.0,281	1·0,116	—	1:0,486	1:0,29	1·0,107	1·0,15	1·0,415
20	Kalorien Preis RM/10000 kcal	0,054	0,056	0,0352	0,048	0,041	0,0332	0,0337	0 05	0,0237	—	0,0664	0,084	0,024	0,042	0,042
21	Verhältnis 8 21	1 0,49	1.0,51	1.0,37	1:0,533	1 0,477	1.0,345	1 0,327	1:0,4	1 0,166	—	1.0,69	1 0,42	1 0,158	1 0,22	1.0,59

[1] Nicht verwendet.

fachen, bisher stets fehlgeschlagenen Versuche, im Vergasermotor Schweröl betriebssicher zu verarbeiten, wider Erwarten doch noch zum Erfolg führen sollten, bleibt dem Dieselmotor der Vorzug, die thermisch sparsamste Kraftmaschine zu sein. Er hat den *niedrigsten Gewichtsverbrauch an Brennstoff* für die Einheit der Leistung. Dies wirkt sich bei vielen Arten von Verkehrsfahrzeugen insofern ganz besonders vorteilhaft aus, als der spezifische Brennstoffverbrauch des Dieselmotors gerade bei niedrigen Belastungen besonders gering ist. Lastwagen und Lokomotiven arbeiten meistens unter niedriger Belastung, so daß sich hier der sparsame Verbrauch des Dieselmotors in ganz hervorragendem Maße geltend macht. In Abb. 1 zeigt Kurve *a* den Gewichtsmehrverbrauch des Benzinmotors gegenüber dem Dieselmotor in Prozentteilen des Dieselverbrauchs. Abb. 2 zeigt die Kosten einer Betriebsstunde

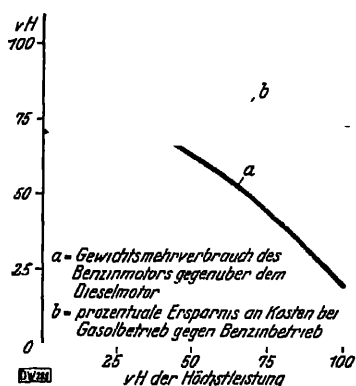



Abb. 1 Ersparnisse bei Dieselbetrieb (Lastwagenmotor 85 PS, 1250 U/min)

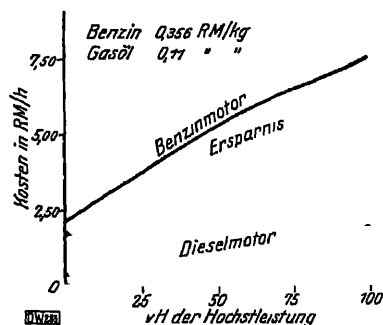



Abb. 2. Stündliche Kosten bei verschiedenen Belastungen (Lastwagenmotor 85 PS, 1250 U/min)

eines Vergasermotors und eines Dieselmotors von je 85 PS bei verschiedenen Belastungen in Reichsmark, bezogen auf deutsche Großhandelspreise. Hier ist auch die erzielte Ersparnis in Reichsmark angegeben. In Abb. 1 zeigt die Kurve *b* die beim Dieselbetrieb erzielten Ersparnisse in Prozentteilen der Kosten des Benzinbetriebes. Diese Ersparnis beträgt über das ganze Belastungsbereich ziemlich gleichbleibend 80%, was die große wirtschaftliche Bedeutung des Dieselmotors hell beleuchtet. Praktische Verbrauchszahlen und Betriebskosten verschiedener Dieselfahrzeuge zeigt Zahlentafel 4

Der Betriebstoffverbrauch beeinflußt aber nicht nur die Fahrkosten, sondern er entscheidet in vielen Fällen auch über die mögliche *Reichweite* und damit über die Betriebswirtschaftlichkeit eines Fahrzeugbetriebes. Wegen des erheblich sparsameren Gewichtsverbrauchs beim Dieselmotor läßt sich mit 1 kg Gasöl eine erheblich größere Strecke zurücklegen als mit 1 kg Benzin. Dazu kommt noch, daß das niedrigere spezifische Gewicht des Benzins bei gegebenem Brennstofftank nur die Mitnahme eines kleineren Brennstoffgewichts an Benzin als an Gasöl

Zahlentafel 4 *Erfahrungswerte von Dieselfahrzeugen*

	Beispiel Nr	I	II	III	IV	V	VI
1	Fahrzeugart	Lastwagen	Lastwagen	Lastwagen	Lastwagen	Omnibus	Lastwagen
2	Besitzer	Kämmerling, Köln	Loth & Bopp, Friedberg, Hessen	Kronenbrauerei Abbt, Donauwörth	Brauerei „Zum Hasen“, Augsburg	Städt Betriebe Freiberg, Sa	Rieper, Fortezza Italien
3	Bemerkungen	Stadtverkehr, eben	mit Anhänger, Landfahrt, bergig	mit Anhänger	Gebirgiges Gelände	Stadtverkehr, stark bergig, 19 Sitzpl , 10 Stehplätze	Überlandfahrten
4	Nutzlast t	3,5	5+6	5+5	5	3	4
5	Motorlieferer	Deutz	Deutz	MAN	MAN	Junkers	Junkers
6	Motorart	4 Takt, Diesel, Vorkammer	4 Takt, Diesel, Vorkammer	4 Takt, Diesel, Druckeinspritzung	4 Takt, Diesel, Druckeinspritzung	2 Takt, Diesel, Doppelkolben, Druckeinspritzung	2 Takt, Diesel, Doppelkolben, Druckeinspritzung
7	Motorwerte mm	4 · 115 ⌀ · 170 $n = 1250$	6 · 115 ⌀ · 170 $n = 1250$	4 · 115 ⌀ · 180 $n = 1150$	4 · 115 ⌀ · 180 $n = 1150$	2 · 80 ⌀ · (?) $n = 1100$	2 · 80 ⌀ · (?) $n = 1100$
8	Betriebshöchstleistung PSe	55	85	50	50	48	48
9	Brennstoffart	Gasöl	Gasöl	Gasöl	helles Gasöl	Gasöl	Gasöl
10	Praktisch ermittelter Verbrauch kg/100 km — Brennstoff	15,5	39	32—34	32	18	17,5
11	Praktisch ermittelter Verbrauch kg/100 km — Schmieröl	1,2	1,0	1,2 – 1,8	1,2	1,2	1,1
12	Brennstoffverbr kg/100 tkm	4,5	3,5	3,3	6,4	6	4,4
13	Praktische Betriebstoffkosten RM/100 km	1,71 + 0,73 = 2,44	4,30 + 0,605 = 4,905	3,64 + 0,91 = 4,55	3,50 + 0,73 = 4,23	2,00 + 0,73 = 2,73	1,90 + 0,67 = 2,57
14	Praktische Betriebstoffkosten RM/100 tkm	0,495 + 0,21 = 0,755	0,385 + 0,055 = 0,44	0,365+0,091=0,456	0,70 + 0,15 = 0,85	0,66 + 0,244 = 0,904	0,485 + 0,17 = 0,655
15	Bis 1 10 39 zurückgelegte km-Zahl km	23000	15200	130000	77000	18000	18000

VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	Beispiel Nr.	
Lastwagen	Motorboot	Motorboot	Motorschiff	Motorlokomotive	Motorlokomot	Triebwagen	Fahrzeugart	1
Sinner A G Karlsruhe	Schmitz, Bonn	Städt Betriebe Dessau	Köln—Düsseldorf Rhein-Dampfschiff-fahrt, Köln	Deutsche Solvay-werke, Bernburg	Lilpop, Rau & Lönnstein, Warschau	Deutsche Reichsbahn	Besitzer	2
Stadtfahrten	Vergnügungs-boot	Fährboot	Personenschiff	8 t Gruben-lokomotive	Rangier-lokomotive	—	Bemerkungen	3
5	—	80 Personen	550 Personen	1,9	—	40 + 30	Nutzlast t	4
Daimler-Benz	Deutz	Junkers	Deutz	Deutz	Junkers	Maybach	Motorlieferer	5
4 Takt, Diesel, Vorkammer	4 Takt, Diesel, Vorkammer	2 Takt, Diesel, Doppelkolben, Druckeinspritz	4 Takt, Diesel, Druckeinspritzung	4 Takt, Diesel, Vorkammer	2 Takt, Diesel, Doppelkolben, Druckeinspritz	4 Takt, Diesel, mit Kompressor	Motorart	6
6 · 105 ⌀ · 165 n = 1300	6 · 115 ⌀ · 170 n = 1000	2 · 80 ⌀ · (?) n = 1100	6 · 210 ⌀ · 280 n = 675	4 · 115 ⌀ · 170 n = 1250	2 · 80 ⌀ · (?) n = 1100	6 · 140 ⌀ · 180 n = 1300	Motorwerte mm	7
75	2 · 66 = 132	48	2 · 265 = 530	55	48	150	Betriebshöchstleistung PSe	8
Gasöl	Gasöl	Gasöl	Gasöl	Gasöl	Gasöl	Gasöl	Brennstoffart	9
23,5	205	—	380	50	—	etwa 80	Praktisch ermittelter Verbrauch kg/100 km: Brennstoff	10
1,2	—	—	12,5	—	—	etwa 1	Praktisch ermittelter Verbrauch kg/100 km: Schmieröl	11
3,7	—	—	—	1,5	—	0,75	Brennstoffverbr. kg/100 tkm	12
2,60+0,73=3,33	22,50+(?)=(?)	—	42,00 + 7,55 = 49,55	5,50 + (?) = (?)	—	3,3 + 0,6 = 3,9	Praktische Betriebstoffkosten RM/100 km	13
0,42+0,15=0,57	—	—	—	0,165 + (?) = (?)	—	—	Praktische Betriebstoffkosten RM/100 tkm	14
—	38 000	(?)	etwa 30 000	12 000	1300 Betriebsstd	200 000	Bis 1 10 29 zurückgelegte km-Zahl km	15

Es sind die deutschen Großhandelspreise vom September 1929 zugrunde gelegt. Schmieröl mit 60, 50 RM/100 kg bei Faßbezug.

gestattet. Alles in allem dürfte die Reichweite eines Dieselfahrzeugs gegenüber einem Benzinfahrzeug gleicher Leistung bei gleichem Brennstofftank um etwa 85% größer sein. Für Flugzeuge und Luftschiffe ist diese Frage von sehr einschneidender Bedeutung, da der ersparte Raum und das ersparte Gewicht für die zahlende Nutzlast zur Verfugung stehen. Die Ozeanfluge haben dies jedem verdeutlicht. Ganz besonders zeigt sich dieser Vorteil natürlich gegenuber der Kohle. Bei gleichem Brennstoffbunkerraum haben die mit Dieselmotor ausgerüsteten Fahrzeuge daher eine größere Reichweite

Der etwas höhere *Motorpreis* des Fahrzeug-Dieselmotors spielt beim Flugzeug und beim Luftschiff eine untergeordnete Rolle. Dagegen wird er beim Lastwagen- und Lokomotivbetrieb, wo der Dieselmotor gegen die sehr billigen Vergaserlastwagen und Dampflokomotiven anzukampfen hat, oft den Ausschlag geben Die infolge der hoheren Drucke verstarkte und mit besserem Material durchgeführte Bauart verursacht heute noch hohere Erzeugungskosten, die deshalb großer erscheinen, weil der Fahrzeug-Dieselmotor zur Zeit noch nicht in den großen Mengen hergestellt werden kann wie der Vergasermotor Dagegen zeigt sich allerdings gegenüber den langsamlaufenden Dieseltypen schon ein wesentlicher Preisvorteil, der je nach Größe 10 bis 25% beträgt. Man bezahlte im September 1929 für Lastwagen-Dieselmotoren etwa RM. 80,— bis 125,— je PS_e, was Gewichtspreisen von RM. 9,— bis 14,— je kg entspricht und wohl 20 bis 25% uber den Preisen gleichwertiger Vergasermotoren liegen dürfte.

Bauliche Bewertung

Eine der Hauptschwierigkeiten, die sich der Verwendung des langsamlaufenden Dieselmotors in Verkehrsfahrzeugen in den Weg stellten, waren der große von ihm beanspruchte *Raum* und sein hohes *Gewicht*. Bei den gedrangten Verhältnissen in allen Fahrzeugen steht meist nur wenig Raum zur Verfügung, wahrend hohes Gewicht des Motors wiederum die Wirtschaftlichkeit des Fahrzeugs durch Wegnahme von Nutzgewicht herabsetzt. Die erste Voraussetzung fur die allgemeine Einführung des Dieselbetriebes in Verkehrsfahrzeuge war daher die Schaffung eines Dieselmotors von hoher Literleistung und geringem Gewicht.

Hohe Literleistung (Zahlentafel 2, Spalte 20) laßt sich erzielen durch hohen *mittleren Effektivdruck* oder durch Schnellauf. Der Vergasermotor arbeitet heute mit Effektivdrücken bis zu 7 und $7^{1}/_{2}$ at (100 bis 107 lbs./sq. inch.) und mehr, wobei er im allgemeinen trotz Brennstoffuberschuß rauchfreien Auspuff hat. Beim Dieselmotor ist der Erhohung des mittleren Effektivdrucks dadurch eine Grenze gesetzt, daß auch vorübergehende, vom Motor an sich leicht aufzubringende Überlastungen in der Nahe des Luftmangels von Rußentwicklung begleitet sind. Bisher ist bei schnellaufenden Dieselmotoren vollig rauchfreier Betrieb nur bis zu Effektivdrucken von $5^{1}/_{2}$ bis 6 at (80 bis 86 lbs./sq inch.) moglich (Zahlentafel 2, Spalte 19)

Ein weiteres Mittel, hohe Literleistung zu erzielen, ist durch den *Schnellauf* gegeben. Bisher gelang es nicht, den Begriff „Schnellauf“

einigermaßen befriedigend festzulegen. Er wird im Lauf der Jahre auch Wandlungen unterliegen; so werden Vergasermotoren, die noch vor 15 Jahren als schnellaufend galten, von den Automobilfabrikanten heute als Langsamlaufer bezeichnet. Es soll in diesem Bericht keine strenge Begriffsbildung auf Grund von Hubverhaltnis, Kolbengeschwindigkeit, Hubvolumen usw versucht werden, sondern es werden alle diejenigen Motoren „schnellaufend" genannt, die man heute nach allgemeiner Gepflogenheit als solche ansieht. In Abb. 3 und 4 sind auf Grund des heutigen Standes statistisch gewonnene Kurven dargestellt, die als Anhalt dafür dienen können, von welcher Drehzahl an ein Motor

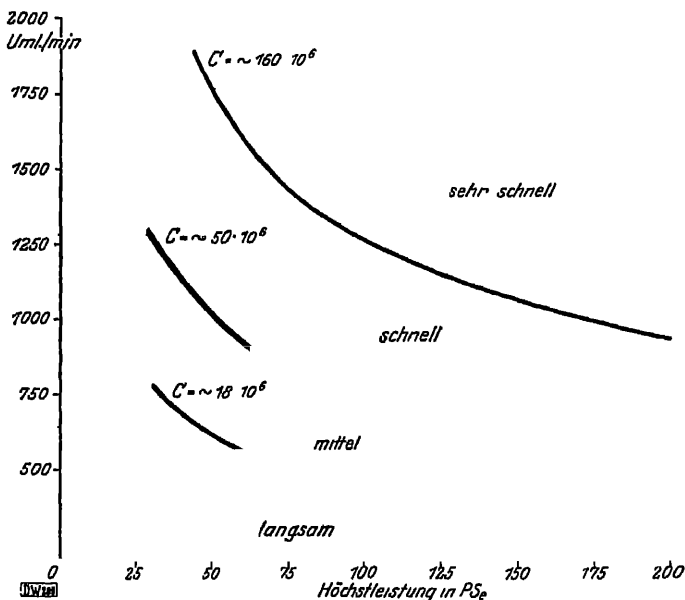



Abb. 3. Schnellauf ($N_e \cdot n^2 = C$).

als schnellaufend bezeichnet werden sollte. Um eine gerechtere Beurteilung der in Zahlentafel 2 aufgeführten Motoren zu erleichtern, sind auch noch die Begriffe „langsam", „mittel", „sehr schnell" gegeneinander abgegrenzt Die Kurven folgen angenahert der Beziehung $N_e \cdot n^2 = C$, wobei die C-Werte im Bereich der kleineren und der mittleren Motorleistungen etwas voneinander abweichen

Die Entwicklung des Dieselmotors zum „Schnellauf" (Zahlentafel 2, Spalte 16 und 17) hatte eine Reihe von *verbrennungstechnischen Fortschritten* zur Vorbedingung, insbesondere die Umwandlung der Dieselmaschine vom Einblase- zum Einspritzmotor. Zwar erzielt der als Einblasemotor mit angekuppeltem Kompressor gebaute Maybachmotor außerordentlich hohe Drehzahlen und Effektivdrucke und sehr niedrige Gewichte (Spalte 21), trotzdem darf man sagen, daß das kompressor-

lose Verfahren eine grundlegende Voraussetzung für den Fahrzeug-Dieselmotor war, da das Einblaseverfahren sich mindestens auf alle kleineren Einheiten mit wirtschaftlichem Erfolg nicht ausdehnen wird. Durch Luftwirbel (Hesselmann, Junkers, MAN), durch Vorkammer (Daimler-Benz, Deutz, MWM) ist das kompressorlose Verbrennungsverfahren so weit vervollkommnet worden, daß in Verbindung mit hochwertiger Herstellung der Einspritzelemente heute Drehzahlen von 1000 bis 2000 keine großen Schwierigkeiten verbrennungstechnischer Art mehr machen. Die hohen Drücke, die zur Selbstzundung des Brennstoffs durch die Verdichtungswärme im Zylinder notwendig werden, bedingen eine außergewöhnlich kräftige und schwere Bauart. Hohen

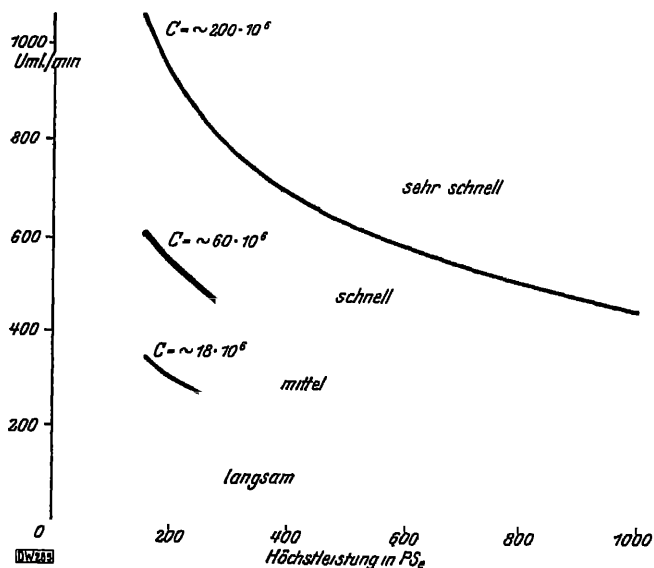



Abb 4 Schnellauf ($N_e \cdot n^2 = C$).

Drehzahlen war daher lange neben den verbrennungstechnischen Schwierigkeiten durch schwere Kolben- und Schubstangenausbildung eine Grenze gesetzt. Hier hat der Konstrukteur bemerkenswerte Erfolge erreicht, ohne ganz das niedrige Gewicht der hin und her gehenden Massen bei Vergasermotoren zu erreichen, so daß sich beim Dieselmotor im Hinblick auf Erschütterungsfreiheit in erhöhtem Maß ein guter Massenausgleich, z. B. durch Verwendung der Sechszylinder-Ausführung, empfiehlt.

Der Fahrzeug-Dieselbau hat sich in weitem Umfang die großen Fortschritte zunutze gemacht, die der Vergasermotorenbau im letzten Jahrzehnt erzielt hat. Den hohen Drucken, die beim Dieselmotor unvermeidlich sind, und mit denen die außergewohnliche Wirtschaftlichkeit des Dieselmotors in engster Verbindung steht, wird durch geeignete konstruktive Maßnahmen (Zuganker, Gegenkolben) und Verwendung

des besten Materials Rechnung getragen (Spalte 21 und 22). Hier gewinnt also der *Leichtbau* eine erhöhte Bedeutung.

Fahrtechnische Bewertung

Das etwas höhere Gewicht gleicht der Fahrzeug-Dieselmotor durch vorzügliche *Geschmeidigkeit* aus. Hierdurch gewinnt er Fahreigenschaften die ihn in Lastwagen, Omnibussen und Schleppern für den heutigen Straßenverkehr besonders wertvoll machen. Am Anfang der Entwicklung bereitete die Erreichung sehr niedriger Drehzahlen gewisse Schwierigkeiten. Heute liegen die niedrigsten Drehzahlen bei den Wagen-Dieselmotoren bei 300 bis 350, was auch für den Omnibusbetrieb aus-

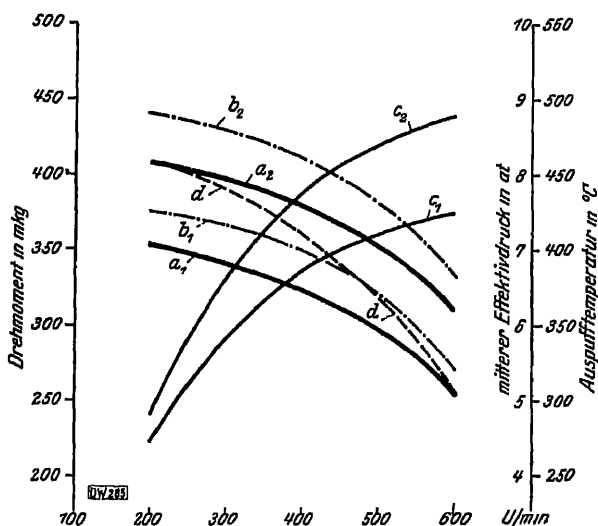



Abb. 5. Drehmoment eines Dieselmotors bei wechselnder Drehzahl
a - Drehmoment, *b* - mittlerer Effektivdruck, *c* = Auspufftemperatur, *d* - nutzbares Drehmoment bei Lokomotivantrieb

reicht. Die beim Vergasermotor im langsamen Leerlauf eintretende Selbstregelung durch Drosseln des Benzinluftgemischs wird beim Wagen-Dieselmotor durch Sonderregler erreicht. Da beim Dieselmotor Brennstoff und Luft getrennt in den Zylinder eingebracht werden, *bleibt das Drehmoment auch bei den niedrigsten Drehzahlen unverändert hoch.* Das erlaubt langsames Fahren im höchsten Gang ohne Umschalten und verleiht dem Motor ein starkes Beschleunigungsvermögen, das allerdings heute noch bei vielen Motoren durch ein wegen der hohen Verdichtung notwendiges, vergrößertes Schwungradgewicht etwas beschränkt wird. Der Dieselmotor „stirbt“ nicht ab bei starken Überlastungen unter Verminderung seiner Drehzahl, wie dies der Benzinmotor tut, sondern er hält durch und erweist sich als äußerst zugzäh. Er „verschluckt“ sich nicht, sondern nimmt Belastungsstöße hervorragend gut auf. Abb. 5 zeigt in Abhängigkeit von der Drehzahl das größte Drehmoment bei

reinem Auspuff (Kurve *a 1*) und das höchste Drehmoment, bei dem der Auspuff zwar rußt (*a 2*), das der Motor aber noch gut durchzieht. Ferner die dazugehörigen mittleren Effektivdrücke (*b 1* und *b 2*) und Auspufftemperaturen (*c 1* und *c 2*). Kurve *d* gibt eine Drehmomentenlinie, die man beim Lokomotivbetrieb ausnutzen konnte. Die Werte sind ermittelt für einen Sechszylinder-Viertakt-Dieselmotor für Lokomotiven der Motorenfabrik Deutz von 200 PS bei $n = 600$.

Für flotte Fahrt wichtig ist auch das *Anlassen* und bei Schiffsmotoren das Umsteuern. Alle guten Dieselmotoren können kalt angelassen werden, bei kleineren Abmessungen noch von Hand, bei größeren elektrisch oder mit Druckluft Einige Bauarten, insbesondere solche mit Vorkammer, benutzen für das Ingangsetzen eine Glühspirale, die von der Batterie gespeist und wenige Sekunden lang durch einen Druckknopf betätigt wird. Bei einigen Bauarten wird bei kaltem Wetter die Ansaugeluft vorgewärmt, während die Mehrzahl der Motoren hierauf verzichtet. Auch das aufeinanderfolgende Einschalten der einzelnen Zylinder beim Anlassen wird nur noch bei wenigen Typen angewendet. Meist sind die zur Verwendung gelangenden elektrischen Anlasser mit Rücksicht auf die hohe Verdichtung des Motors etwas größer als diejenigen gleich starker Benzinmotoren Größere Motoren läßt man durchweg mit Druckluft an. Bemerkenswert ist noch, daß Diesellastwagen gegenüber Vergaserwagen bei kältestem Wetter sofort nach dem Anlassen voll angefahren werden können, also keiner vorherigen Durchwärmung bedürfen. Bei den *Langer*schen Versuchen ergab sich zwischen Startzeichen und Beginn der Bewegung bei ganz kaltem Wagen eine Zeit von 33,12 s

Das Umsteuern erfolgt bei kleineren Schiffsmotoren durch Wendegetriebe, bei größeren mit Druckluft. Die Umsteuerzeit ist heute bei größeren schnellaufenden Dieselmotoren kürzer als bei Dampfanlagen; so beträgt sie bei einem 250-PS-Sechszylindermotor von 700 U/min nur 3 bis 5 s von voll voraus auf voll zurück.

Betriebssicherheit und geringe Instandhaltungskosten sind Grundbedingungen für die Gesamtwirtschaftlichkeit. Die *Zuverlässigkeit* des Vergasermotors und der Dampfmaschine kann heute als fast vollkommen bezeichnet werden. Der langsamlaufende Dieselmotor entspricht in vollstem Maß. Bei schnellaufenden Fahrzeug-Dieselmotoren wird die Zuverlässigkeit sichergestellt durch vorzügliche Schmierung, reichliche Ausbildung der hoch beanspruchten Teile, Verwendung besten Materials, einfachste Konstruktion, die ein Verstellen durch Erschütterungen oder auch durch neugierige Fahrer ausschließt. Eine hervorragende Rolle spielt bei der Betriebssicherheit der einfache Aufbau. Hier brachte die Einführung des kompressorlosen Betriebs den größten Fortschritt, weshalb sich der Dieselmotor auch erst als Einspritzmotor in erheblichem Umfang in Fahrzeugbetriebe einführen konnte Die bisher an vielen Stellen vorliegenden Erfahrungen zeigen, daß die Bedienung des Fahrzeug-Dieselmotors keine erheblichen Schwierigkeiten bereitet, nachdem die Erbauerfirmen die Einspritzorgane möglichst vereinfacht und zum Teil die Verstellung derselben unmöglich gemacht haben. Natür-

lich verlangt die Einführung des dem großen Publikum in seiner Wirkungsweise noch unbekannten Dieselmotors eine gewisse Einlernzeit. Um diese zu verkürzen, haben sich die meisten Erbauer von Fahrzeug-Dieselmotoren im konstruktiven Aufbau möglichst weitgehend an den Benzinmotor angelehnt. Andere greifen im Gegensatz hierzu aus Gründen der Einfachheit zum Zweitaktverfahren, das zwar im Vergasermotor nur bei Motorrädern Fuß fassen konnte, das aber auch im Hinblick auf die doppelte Ausnutzung des Hubvolumens Vorteile bietet. Die Kosten für die Bedienung sind beim Dieselmotor nicht höher als beim Vergasermotor. Gegenüber der Dampfanlage bringt die Bedienung des Dieselmotors die bekannten Ersparnisse. Daß im Anfang beim Dieselmotorbetrieb häufiger Störungen auftraten als beim Benzinmotor, ist nicht verwunderlich; als sich der Dieselmotor aber in großem Umfang einführte, nahmen diese Störungen rasch ab. Auch kommen beim Dieselmotor gerade die empfindlicheren Teile des Vergasermotors in Fortfall. Nach Ermittlungen des Royal Automobil Club of England aus den Jahren 1924—27 ergibt sich, daß nicht weniger als 24,8% aller bei Automobilen vorgekommenen Störungen durch Vergaser und Zündung verursacht waren. Heute liegen schon von verschiedenen Seiten Belege dafür vor, daß Instandsetzungen bei guten Dieselmotoren nicht häufiger sind als bei Dampf- oder Benzinbetrieb. Die Ersatzteile, die beim Dieselmotor für eine gelegentliche Auswechslung überhaupt in Frage kommen, sind ebenfalls nicht oder nur wenig teurer als die durch diese Sonderteile ersetzten empfindlicheren Bauelemente des Vergasermotors. So kosteten im September 1929 bei Lastwagen-Dieselmotoren Brennstoffdüse RM. 25,— bis 30,— je Stück, Brennstoffpumpe RM. 45,— bis 100,— je Zylinder, Vorkammer RM. 7,50.

Wenn aus dem Vorgesagten auch hervorgeht, daß die Nutzbarmachung der großen betrieblichen Vorteile des Dieselmotors für den Fahrzeugbetrieb durch konstruktive Angleichung an den Vergasermotor als gelungen anzusehen ist, so bleibt noch zu untersuchen, ob nicht *unliebsame Nebenerscheinungen* die Gesamtwirtschaftlichkeit herabmindern. Als solche können u. a. auftreten: Erschütterungen, Geräusch, Rußen, Geruch, Feuersgefahr. Bei Verwendung der Sechszylinderanordnung, Leichtmetall bei Kolben und Pleuelstangen steht der Massenausgleich beim Dieselmotor demjenigen des Vergasermotors nicht nach. Infolge der höheren Drucke neigen allerdings manche Motoren zu leichtem Zündungsgeräusch, das sich insbesondere bei starker Beschleunigung unter Überlast bemerkbar macht. Versuche, dieses Geräusch durch höhere Verdichtung herabzusetzen, waren sehr erfolgreich. Bei richtiger Ausbildung verursachen die Brennstoffpumpen trotz der hohen Drücke keine störenden Geräusche.

Eine allerdings noch nicht völlig geklärte Frage sind Farbe und Geruch des *Auspuffs*. Beim Anfahren und bei plötzlichen Belastungsstößen neigen zur Zeit noch alle Fahrzeug-Dieselmotoren zu leichter Rußbildung. Der Auspuff hat infolge des unvermeidlichen Mitreißens von unverbranntem Schweröl einen süßlichen, nicht jedem angenehmen Geruch. Klagen sind allerdings im praktischen Betrieb nur ganz selten

aufgetaucht. Die Zusammensetzung der Auspuffgase ist beim Dieselmotor nicht ungünstiger als beim Vergasermotor, was die in Zahlentafel 5 angegebenen Versuche belegen. Der Gehalt an gesundheitsschadlichem Kohlenoxyd ist beim Dieselmotor sogar erheblich niedriger. Das Untersuchungsamt der Stadt Wien stellte (durch Palladiumlosung) fest: beim Benzinwagen 1,9%, beim Dieselwagen 0,03% CO. Sogar in Schlagwettergruben laufen heute schon viele Diesellokomotiven ohne wesentliche Beschwerden der Belegschaft. Es wurde die Luftverschlechterung untersucht, die auf Zeche Diergardt auf der 265-m-Sohle durch zwei im einziehenden Strom arbeitende 20 PS Deutz-Diesellokomotiven verursacht wird (Zahlentafel 6). Beide Lokomotiven wurden zusammengestellt und die Analysen etwa 5 m hinter der zunachst liegenden genommen. Auch dieses Ergebnis darf als äußerst gunstig bezeichnet werden. In England wurden mit einem Daimler-Benz-Diesellastwagen große Mengen Käse befördert und die schädliche Beeinflussung dieses sehr empfindlichen Ladegutes durch die Auspuffgase ermittelt. Es ergab sich als Aufnahmeziffer beim Diesellastwagen 0,2, während dieser Wert für den Benzinwagen 2,6 betrug.

Leider war es nicht möglich, genauere Angaben uber den Umfang der *Feuerschäden* zu erhalten, die durch das außerst feuergefährliche Benzin oder Benzol verursacht werden[2]. Vergaserbrande und Garagenbrände sind jedoch leider keine Seltenheit. Nach der Unfallstatistik der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt kamen bei Flugzeugen folgende Brande vor:

	1926	1927	1928
Brande	6	7	11
davon Vergaserbrände	2	3	6

Jedenfalls ist die Feuersicherheit der beim Dieselmotor verwendeten Brennstoffe ein besonders starkes Argument für die Einführung des Dieselverfahren bei Verkehrsfahrzeugen. Knaller, wie sie bei Vergasermotoren infolge von Fehlzündungen vorkommen, sind hier völlig ausgeschlossen, wodurch schon eine der Hauptursachen fur Brande wegfallt. Infolge des sehr hohen Flammpunktes und des hohen Siedepunktes sind Schweröle sehr feuerfest. Die Einlagerung von Schwerolen ist nicht den strengen feuerpolizeilichen Vorschriften unterworfen, wie dies bei Benzin und Benzol der Fall ist. Letztere gehören der Gefahrenklasse I, alle eigentlichen Dieselole, Gasöle und Braunkohlenteeröle der Klasse III an. Nach den Vorschriften sind hinsichtlich ihrer Einlagerung als gleichwertig zu betrachten 200 l Rohol = 1 l Benzin. Bis zu 6000 l ist die Einlagerung von Gasol vollig anmeldungsfrei. So wird man in vielen Fällen eine teure Tankanlage ersparen können.

Oft wird bei Beurteilung des Diesellastwagens eingewendet, daß zur Zeit noch *keine Tankstellen für Gasol* vorhanden sind. Der wirtschaftlich denkende Lastwagenbesitzer wird aber gewiß nicht den teuren Kleinhandelspreis an den Tankstellen bezahlen, sondern Abschlusse auf

[2] Hier sollen nur zwei verhängnisvolle Unglucksfälle aus jüngster Zeit erwähnt werden Am 6. November 1929 streifte ein deutsches Verkehrsflugzeug bei Godstone im Nebel die Baumkronen, der Benzinbehälter explodierte und setzte das Flugzeug in Brand 7 Personen kamen ums Leben. Am selben Tage verbrannten im Wald von Fontainbleau bei Paris zwei Damen in ihrem Auto.

Zahlentafel 5. *Abgasanalysen eines Vergasermotors und eines Dieselmotors* (in %)

1.	Belastung der Dauerleistung in %		0	25	50	75	100
2.	Vergasermotor	CO_2	8,5	12,0	12,4	12,6	8,3
3	Benzin . . .	O_2	7,1	3,3	2,6	2,4	8,7
4	$\gamma = 0,75$.	CO	1,61	1,07	0,62	0,26	0,032
5.	Dieselmotor .	CO_2	1,80	3,30	4,70	7,60	10,0
6.	Gasol . . .	O_2	18,20	16,40	14,10	10,20	7,40
7.	$\gamma = 0,87$.	CO	0,060	0,045	0,030	Spur	frei

Zahlentafel 6 *Wetteranalysen, genommen auf der 265-m-Sohle der Zeche Diergardt bei Diesellokomotivbetrieb* (Wettermenge: Osten 60 m^3, 0,2 m/s; Westen 130 m^3, 0,5 m/s [in %].)

	Versuchsbericht		I		II	
1.			CO_2	CO	CO_2	CO
2.	Leerlauf	Osten	0,14	0,00	0,20	0,00
3		Westen	0,17	0,00	0,14	0,00
4.	Belastung	Osten	0,12	0,00	0,20	0,01
5		Westen	0,12	0,00	0,14	0,00
6	Anlassen . . .	Osten	0,06	0,00	0,10	0,00
7.		Westen	0,06	0,00	0,10	0,00

Zahlentafel 7. *Vergleichsfahrten mit zwei völlig gleichen 3,5 t-NAG-Lastwagen mit Vergasermotor und mit Deutz-Dieselmotor.* (Prof. *P. Langer*, T. H Aachen, 11. und 12. 8 1928)

		Vergasermotor	Dieselmotor
1.	Bereifung des Wagens. . . . mm	Riesenluft 1025 × 200	Elastik 950 × 180
2.	Wagengewicht, beladen . . . . . kg	8120	8120
3	Motorabmessungen . . . . mm	4 × 115 ⌀ × 170	4 × 115 ⌀ × 170
4.	Brennstoff	B. V. Benzol	Gasol
5.	Mittlere Beschleunigung aus der Ruhe . . . . m/s^2	0,25	0,26
6.	Geringste Geschwindigkeit im 4 Gang . . km/h	9,65	7,8
7.	Beschleunigung aus 9,6 km/h . m/s^2	0,243	0,284
	%	100	117
8	Brennstoffverbrauch . . . . . . kg/100 km	31,7	15,6
9	in der Ebene . . . %	100	49
10.	Brennstoffverbrauch . . kg/100 km	32,52	19,64
11.	bei Bergfahrten . . . . . . %	100	60
12	Brennstoffkosten in der Ebene %	100	13
13.	Gesamtkosten bei 200 km/Tag %	100	80

größere Mengen Brennstoff tätigen. Er vermißt die Tankstellen also nicht. Sollte unterwegs der Brennstoffvorrat einmal zur Neige gehen, so ist bei der starken Verbreitung des Dieselmotors fast an jedem Ort Gasöl zu bekommen. Als Aushilfe läßt sich der Dieselmotor auch mit einem Gemisch von Benzin und Schmieröl betreiben.

Noch *zwei kleinere Vorteile* bringt der Dieselmotor. Bei Flugzeugen werden weniger leicht Störungen an der Funkanlage auftreten, da beim Dieselmotor alle dauernd arbeitenden elektrischen Apparate fortfallen können. Ferner geben der hohe Preis und die vielseitige Verwendbarkeit von Benzin leider stets einen großen Anreiz zu Diebstahl. Größere Betriebe werden vielleicht durch den Dieselbetrieb nicht unbeträchtliche Ersparnisse machen, da der geringe Verkaufswert und die beschrankte Anwendbarkeit von Rohol Diebe nicht verlocken konnen.

Einführung und Erfahrungen

Über den Umfang der *Einführung der schnellaufenden Dieselmotoren in die Praxis* des Fahrzeugbetriebs und besondere hierbei gesammelte *Erfahrungen* soll nachstehend noch berichtet werden. Zahlentafel 4 laßt erkennen, wie weitgehend sich der Dieselmotor alle Fahrzeuggebiete schon erobert hat. Die großen Betriebskilometerzahlen beweisen seine Zuverlassigkeit. In die Zahlentafel konnte nur eine geringe Zahl der vielen heute in Betrieb befindlichen Fahrzeuge Aufnahme finden. Bei Vergleich der in der Zahlentafel angegebenen im praktischen Betrieb erzielten Verbrauchszahlen ist insofern Vorsicht geboten, als diese Wagen unter den verschiedensten Bedingungen laufen. Immerhin konnen die Zahlen als Anhaltspunkte für Wirtschaftlichkeitsberechnungen dienen. Zahlentafel 4 zeigt sehr eindringlich, daß die auf Seite 364 aus Motorverbrauchszahlen und Brennstoffpreisen ermittelten Ersparnisse, die durch die Einführung des Dieselbetriebes erzielt werden konnen, sehr genau mit der Praxis übereinstimmen. Alle Angaben sind durchweg belegt und keine Paradezahlen, sondern meist Durchschnittswerte aus längerem Betrieb nach Angaben der Besitzer, deren Erwartungen der Dieselmotor fast ausnahmslos weit übertraf.

Lastwagen und Omnibusse, ausgerustet mit Dieselmotoren der Systeme Acro-Bosch, Daimler-Benz, Deutz, Junkers, MAN, waren am 1. 10. 1929 in Betrieb: In Deutschland 245, im Ausland 65 Stück, mit Motoren von auslandischen Lizenznehmern dieser Firmen 230, also insgesamt 540 Stück, welche Zahl beweist, daß der Lastwagen-Dieselmotor aus dem Versuchsstadium heraus ist.

An *Dieselmotorlokomotiven* der Firmen Deutz, Jung, Maffei, MWM, Orenstein & Koppel und Ruhrtal waren am 1. 10. 1929 in Betrieb Grubenlokomotiven 134 (davon 3 Stück mit schnellaufenden Motoren), sonstige Lokomotiven 1748 (davon 588 Stück mit schnellaufenden Motoren), im ganzen 1882 Stuck. Hier hat sich der Dieselmotor ein großes Feld im Sturm erobert

Prof *Langer* von der Technischen Hochschule Aachen hat *Versuchsfahrten mit zwei völlig gleichen $3^{1}/_{2}$ t-Lastwagen* in ebenem und bergigem Gelande ausgefuhrt. Zahlentafel 7 zeigt die Ergebnisse. Es ergab sich fur die Fahrt in der Ebene beim Deutz-Dieselwagen eine Ersparnis von 87 % an Betriebstoffkosten gegenüber dem Vergaserwagen. Als mittlere Verbrauchszahl in der Ebene und gegen den Berg ergibt sich bei jeweils 3420 kg Nutzlast beim Vergaserwagen 32,11 kg/100 km oder 0,9 kg je 100 tkm und beim Dieselwagen 17,62 kg/100 km oder 0,52 kg/100 tkm.

Es leistet demnach 1 kg Aral im Vergaserwagen 111 tkm, 1 kg Gasöl im Dieselwagen 193 tkm, d. h. 73% mehr. Bemerkenswert ist ferner (Spalte 5), daß die Beschleunigung aus der langsamen Fahrt im höchsten Gang beim Dieselwagen um 17% größer ist. In Abb. 6 wurden auf

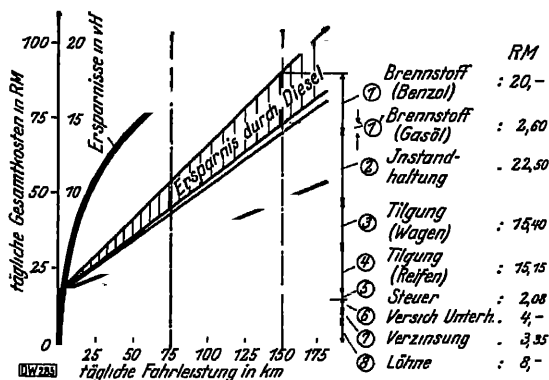



Abb. 6. Betriebsersparnis durch Diesellastwagen.

Grund dieser Versuche die Ersparnisse bei einem 5 t-Dieselwagen ermittelt unter Berucksichtigung aller beim Fahrbetrieb entstehenden Kosten.

Ähnliche Vergleichsfahrten wurden 1927 von einer Schweizer Lastwagenfabrik mit Dieselmotoren, System Acro-Bosch, durchgefuhrt. Zahlentafel 8 zeigt deren Ergebnisse. Die Ersparnisse waren bei Leerfahrt 81%, bei Vollfahrt 76%.

Zahlentafel 8. *Vergleichsfahrten zwischen Acro-Bosch- und Vergasermotor.* (1927 in der Schweiz mit zwei gleichen 5,5 t-Lastwagen ausgeführt; deutsche Preise.)

	Laufende Nr	I	II	III	IV	V
1.	Bezeichnung	Nutzlast t	Motorart	Brennstoffverbrauch kg/100 km	Brennstoffkosten RM./100 km	Ersparnis gegenüber Vergasermotor %
2	Leerfahrt	0	Vergasermotor	25,0	8,00	—
3.			Dieselmotor	14,0	1,54	81
4.	Lastfahrt .	5,5	Vergasermotor	29,5	9,45	—
5.			Dieselmotor	20,5	2,26	76

Daimler-Benz[3] errechnet eine Ersparnis bei Dieselbetrieb für

	30000 km	45000 km/Jahr
5 t-Lastwagen ohne Anhanger	13,9	19,3%
5 t- „ mit 1 „	14,1	18,6%

wobei samtliche Kosten einschließlich Amortisation zugrunde gelegt sind. Man sieht, diese Zahlen stimmen mit den oben angegebenen recht

[3] „Der Schiffsfrachtendienst", 24 8 29.

befriedigend überein. *Schneggenburger* ermittelt[4] auf Grund von Erfahrungszahlen die Gesamtkosten von Benzin- und Roholschleppern im landwirtschaftlichen Betrieb (Zahlentafel 10). Spalte 5 zeigt die Ersparnisse beim Roholbetrieb gegenüber dem Dieselschlepper in Prozent.

Zahlentafel 9. *Kostenvergleich zwischen Benzin- und Rohölschlepper* (in RM)

	Laufende Nummer	I	II	III	IV	V
1	Arbeitstage des Schleppers im Jahr	200	150	100	50	25
2.	Gesamtjahreskosten: Benzinschlepper	9933,—	7743,—	5433,—	3183,—	2053,—
3.	Gesamtjahreskosten: Roholschlepper	8180,—	6400,—	4570,—	2720,—	1870,—
4.	Ersparnis beim Roholschlepper	1753,—	1343,—	863,—	463,—	183,—
5.	Ersparnis gegenuber dem Benzinschlepper . . . %	17,5	17,3	15,9	14,5	8,9

Zahlentafel 10. *Förderkosten verschiedener Grubenlokomotiven*

	Lokomotivart	Gesamtkosten RM/Nutz-tkm
1.	Elektrische Fahrdraht-Lokomotive	—,122*
2.	Elektrische Akkumulator-Lokomotive	—,178
3.	Druckluft-Lokomotive	—,20
4.	Benzin-Lokomotive	—,161
5	Diesel-Lokomotive	—,122

* Bei 5 Pfg/kWh.

Zahlentafel 11. *Betriebskosten verschiedener Vollbahnlokomotiven* (RM. für 1000 Lok-km)

	Beispiel Nr.	I	II	III	IV
1.	Lokomotivbauart	Dampflokomotive G 55 · 15	Diesel-elektr. Lokomotive	Diesel-Getriebe-Lokomotive	Diesel-Druckluft-Lokomotive
2	Brennstoff- und Schmierölkosten . . . RM	772,—	629,—	545,—	772,—
3.	Ersparnis gegen Dampf %	0	18,5	29,2	0
4.	Gesamtkosten . . RM	2026,—	1695,—	1611,—	1775,—
5.	Ersparnis gegen Dampf %	0	16,5	20,5	12,4

Diese Ersparnisse sind fur einen Schlepper mit Gluhkopfmotor errechnet und würden sich trotz der etwas hoheren Amortisation für den Dieselmotor wegen des erheblich besseren Verbrauchs noch vergrößern.

Was die bessere Raumausnutzung des Motors gegenuber der Dampfmaschine zu bringen vermag, zeigt der Umbau eines alten Dampfschleppers in einen Motorschlepper. Durch Einbau mittelschneller Dieselmotoren wurde die Maschinenleistung von 90 PS_i auf 270 PS_e

[4] „Die Landmaschine" 9 Juni 1928.

vergrößert. Die Betriebsstoffkosten sanken von 0,56 auf 0,295 RM. je 1000 tkm[5].

Das Staatliche Schleppmonopol in Minden i. W.[6] hat Betriebsvergleiche zwischen je funf etwa gleichgroßen Dampf- und Dieselschleppern mit Deutz-Motoren angestellt. Bei gleicher Gesamtzahl der Schleppstunden betragen die gesamten Betriebskosten 9,96 bzw. 8,19 RM./h, d. h. also beim Dieselmotor 15% weniger.

Bei *Lokomotiven im Bergbau*[7] ergaben sich folgende Gesamtkosten fur Grubenbeforderung (siehe Zahlentafel 10).

In einer sich nur teilweise auf Versuche stützenden Nachrechnung über die „Wirtschaftlichkeit der Diesel-Lokomotive im Vollbahnbetrieb" kommt *Strasser*[8] zu den in Zahlentafel 11 aufgefuhrten Ersparnissen. Von den Gesamtkosten wurden demnach schon bei den ersten noch

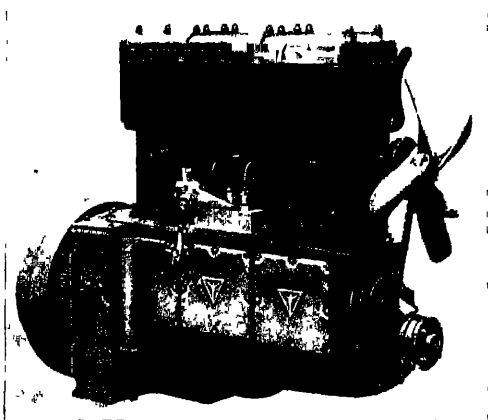



Abb 7. 70 PS-Lastwagendieselmotor von Junkers

im Versuchsstadium befindlichen größeren Diesel-Lokomotiven zwischen 12% und 20% eingespart.

Wechmann[9] untersucht einen Kleinbahnzug und einen Benzoltriebwagen (siehe Zahlentafel 12). Die Zahlen für den letzteren wurden in Beispiel III auf einen Dieseltriebwagen umgerechnet.

Zahlentafel 12. *Betriebskosten von Kleinbahnzügen und Motortriebwagen* (RM fur 1000 Zug-km)

	Beispiel	I	II	III
1.	Zugart	Tenderlokomotive T 91 mit 3 Personenwagen	Benzoltriebwagen mit 2 Anhängern	Dieseltriebwagen mit 2 Anhängern
2.	Gesamtkosten	857,—	660,—	440,—
3.	Ersparnisse gegen Dampf %	0	23	48,5

[5] Ebelt· „Werft, Reederei und Hafen", 1929, Heft 18
[6] Voss· „Werft, Reederei und Hafen", 1926, Heft 18 und 16.
[7] Vgl auch Ullmann, „Elektrizität im Bergbau", 1926, S 108.
[8] „Organ für Fortschritte des Eisenbahnwesens" 1929, Heft 9 und 10
[9] „Verkehrstechnische Woche", 1924, S. 289

Die Anpassung des Dieselmotors an Schnellauf, Leichtbau und Höchstleistung gaben dieser Motortype ein *neues Antlitz*. Die Abb. 7 und 8 zeigen zwei neuere Ausfuhrungsformen. Abb. 9 zeigt die Einbau-

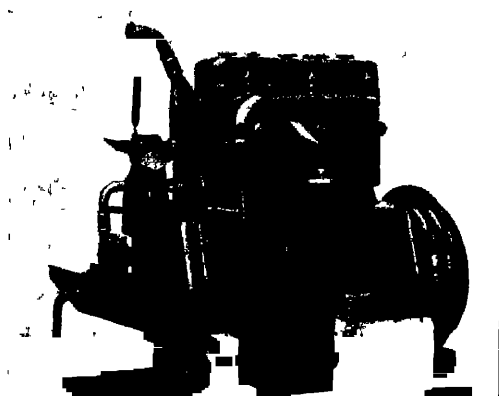



Abb. 8. MWM-Dieselmotor fur Schlepper.

Abb. 9. Zwei 60 PS-Deutz-Dieselmotoren in einem Moselboot

möglichkeit starker, schnellaufender Dieselmotoren in sehr beschrankte Schiffsraume, Abb. 10 den Einbau eines Deutz-Diesels in eine Grubenlokomotive, Abb. 11 den Aufbau eines MAN-Dieselmotors auf ein Triebwagenfahrgestell, Abb. 12 den Einbau eines MWM-Diesels in einen Ackerschlepper, Abb. 13 einen insbesondere fur Lokomotiven und

schnelle Boote konstruierten 600 PS MAN-Diesel, Abb. 14 einen für ähnliche Zwecke und Lichtaggregate gebauten Deutz-Diesel von 350 PS. Die beiden letzteren Motoren sind umsteuerbar.

Abb. 10. Grubenlokomotive mit 50 PS-Deutz-Diesel (ohne Verschalung).

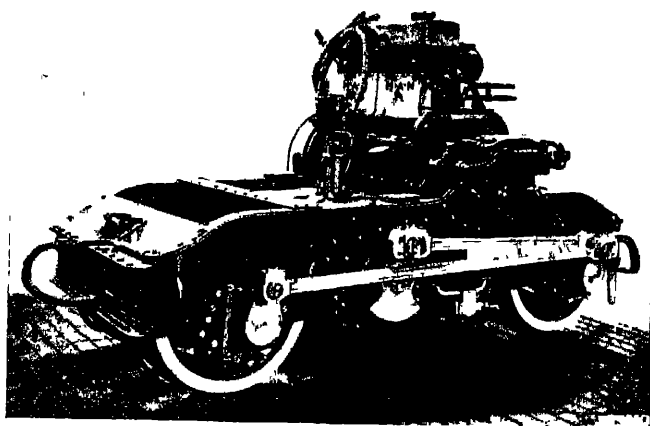



Abb 11. Triebwagen-Fahrgestell mit MAN-Dieselmotor.

Ausblick

Die vorstehenden Ausfuhrungen in Verbindung mit den Zahlentafeln und Bildern zeigen deutlich, in welchem Umfang der heutige Fahrzeug-Dieselmotor schon den Bedingungen des Fahrzeugbetriebes entspricht, und in welchem Maß sich dieser wirtschaftliche Motor in das Gebiet

einführen konnte. Tatkraft und Erfindungsgeist haben dem sparsamen Hochdruckmotor den Weg geebnet, und mit Stolz schaut der deutsche Ingenieur auf den Anteil, den sein Vaterland an dieser Arbeit haben

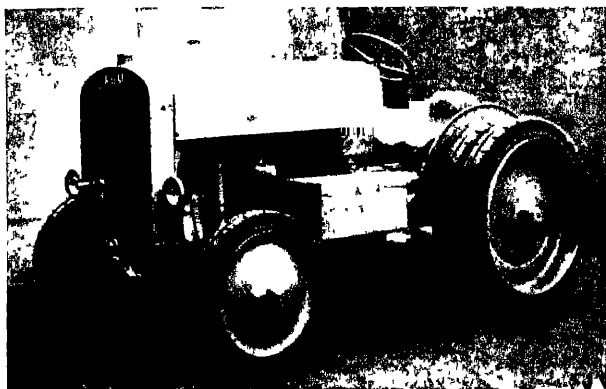



Abb. 12. MWM-Dieselschlepper

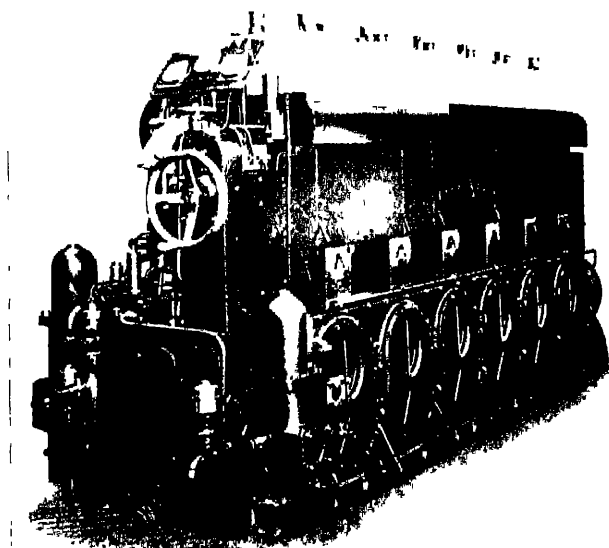



Abb 13. Schnellaufender MAN-Dieselmotor von 600 PS

durfte. Da zu erwarten steht, daß mit der raschen Weiterentwicklung der Fahrzeuge selbst die Anforderungen an die Motoren noch gewaltig wachsen werden, so steht der schaffende Konstrukteur vor *neuen Aufgaben,* deren Lösung dem Dieselmotor ermöglichen soll, mit dieser Entwicklung dauernd Schritt zu halten. Allgemein wird man

versuchen, noch hohere Effektivdrucke ohne Rauchentwicklung zu erzielen, was sich vielleicht u. a. durch Nachspülen, Aufladen oder Erhöhung des Verdichtungsdruckes ermoglichen ließe. Die Drehzahl wird noch weit über die heute erreichte hinausgetrieben werden müssen, wobei der Motor im ganzen Bereich zwischen der hochsten und einer möglichst niedrigen Drehzahl schwingungsfrei und sicher arbeiten muß, was sich in der Mehrzahl der Falle nur unter Verwendung von Schwingungsdampfern erreichen läßt Der Frage der Gerauschverminderung wird man, insbesondere bei Motoren fur Personenboote und Omnibusse, erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken haben. Mit wachsender Einführung des Dieselmotors auf den Land- und Wasserstraßen wird die Unschadlichmachung der Auspuffgase zu einer Frage, die nicht ernst genug

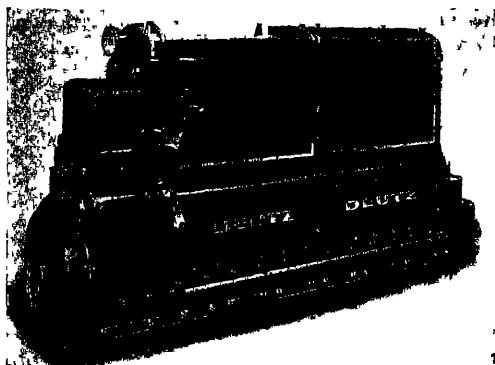



Abb. 14. Schnellaufender Deutzdieselmotor von 350 PS.

genommen werden kann, was aber nicht nur fur den Dieselbetrieb, sondern ebensogut für den Benzinbetrieb zutrifft. Im Lokomotivbetrieb wird der Dieselmotor wohl erst dann auch bei großen Leistungen mit der Dampflokomotive auf der ganzen Linie in Wettbewerb treten konnen, wenn es gelingt, den Motor unmittelbar mit den Triebachsen zu kuppeln und sein Drehmoment vorubergehend gewaltig zu erhöhen.

Es ist in hohem Grade wahrscheinlich, daß sich der Dieselmotor bald die Vorherrschaft im Verkehrsflugzeug erobern wird. Die Brandsicherheit und der betrachtliche Gewinn an Nutzgewicht werden dazu zwingen. In Lastwagen und Schleppern durfte die erhebliche Sparmoglichkeit seine umfassende Einburgerung beschleunigen. In leichten Booten und kleineren Motorlokomotiven hat heute schon der Vergasermotor keine Daseinsberechtigung mehr Am schwierigsten gestaltet sich der Erfolg des Dieselmotors bei den großeren Lokomotiven, weil hier die höheren Herstellungskosten und die Anfahrfrage sehr hemmend wirken Sofern nicht die ubrigen Antriebsmaschinen sich sehr erfolgreich weiterentwickeln, wie dies die Dampfmaschine u a. durch Staubkohlenfeuerung und Hochstdruck tut, wird auch hier auf die Dauer der Dieselmotor siegreich bleiben. Ja es ist nicht ganz ausgeschlossen, daß

Feuersicherheit und großes Anzugsmoment dem noch einfacheren Fahrzeug-Dieselmotor der Zukunft selbst im Personenwagen Einführung verschaffen.

Summary

Starting with a short analysis of the development which vehicles such as lorries, busses, locomotives, motorboats, aeroplanes, tractors as well as their special engines have made since 1919, the conditions for a vehicle engine of the Diesel type are set forth with the view of establishing a common measure for their overall economy. The latter includes not only the cost of fuel, maintainance, depreciation, but as well all qualities such as absence of fire risk or bad exhaust. The striking economic points are the low price of heavy oils and the comparatively very low fuel consumption of Diesel engines. For aeroplanes and boats the gain in the radius of action or in paying weight are most important. The slightly increased figure for depreciation due to the higher initial cost of the engine reduces that advantage only to a nominal extent. Figures for the mean effective pressure, for weight and space occupied per BHP are quoted of various types of gasoline and Diesel engines. For the first time the term "high speed" is defined merely on data taken from the common use of this word; not dealing with a precise definition on the basis of piston speed, stroke to bore ratio, etc. The principal requirements for high-speed engines are detailed with regard to both mechanical design and combustion process. With regard to driving characteristics the Diesel engine has excellent qualities owing to first class flexibility and an unrivalled constant high torque at all speeds. Starting and reversing present no difficulties. Reliability of service and minor features such as malodorous exhaust and the absence of fire-risk are also considered.

Detailed information is given about the extent to which engines are in use in practical service. Comparative tests of Diesel driven vehicles with others are quoted and the outside appearance of highspeed Diesel engines is shown in pictures. The enumeration of further requirements necessary to develop the vehicle engine to the highest perfection leads to a consideration of future possibilities in the application of that special type of Diesel engine.

Dieser Bericht entstand unter Mitarbeit von:

Dipl.-Ing. *G. Dotterreich*, Mannheim,
Prof. *P. Langer*, Aachen,
Prof. Dr.-Ing. *O. Mader*, Dessau,
Dr.-Ing. e. h. *H. Nibel*, Stuttgart,
Dr.-Ing. *W. Riehm*, Augsburg

Deutschland

Beitrag zur Frage der Ausnutzungsmöglichkeiten klopffester Kraftstoffe im praktischen Kraftfahrzeugbetrieb

Benzol-Verband

Dr.-Ing. O. Enoch

I. Einleitung

Mit der Einführung des Benzols als Automobilbetriebsstoff, die vor allem in Deutschland unter dem Zwang der Einfuhrsperre der Kriegs- und Nachkriegsjahre erfolgte, setzt ein neuer Abschnitt in der Kraftstoff- wie auch Motorenentwicklung ein. Man erkannte, daß die bisherige Monopolstellung des Benzins auf dem Weltmarkte nicht mehr berechtigt war, und daß es Kraftstoffe gab, die sogar die motorischen Forderungen in weit vollkommenerem Maße, als dies das Benzin vermochte, befriedigen konnten. Von den motorischen Vorzügen des Benzols wurde seine hohe Klopffestigkeit bald als am wertvollsten angesehen, da sie das haufige Klopfen im Benzinbetrieb mit seinen Überbeanspruchungen des Motortriebwerkes zum Verschwinden brachte und darüber hinaus die Anwendung höherer wirtschaftlicherer Verdichtungsgrade ermöglichte. Die Folge dieser Erkenntnis war auf der einen Seite die Entwicklung eines Marktes an klopffesten Kraftstoffen, die in Landern starkerer Benzolproduktion, also vornehmlich in Deutschland, sehr rasch und weitgreifend, in anderen entsprechend langsamer vor sich ging und sich nicht nur auf Benzol und Benzol-Benzin-Gemische, sondern auch auf Alkohol-Benzin- und -Benzol-Mischungen erstreckte. Auf der anderen Seite wurde die Entwicklung der Motoren zwar beeinflußt, hielt aber mit den durch die neue Lage des Kraftstoffmarktes gegebenen Möglichkeiten nicht Schritt. Die Verdichtung ist nicht allgemein so weit gesteigert worden, wie dies die neuen klopffesten Kraftstoffe zulassen. Betrachtet man z. B. die Kraftstoff- und Motorenentwicklung der letzten 3 Jahre in Deutschland, so zeigt sich zwar ein bereits gegenüber auf reinen Benzinbetrieb angewiesenen Landern deutlich erhohtes Verdichtungsniveau, das sich aber wahrend der ganzen 3 Jahre fast konstant gehalten hat, obwohl in dieser Zeit die Verbreitung klopffester Kraftstoffe einen außerordentlichen Aufschwung genommen hat Im Jahre 1927 betrug in Deutschland der mittlere Verdichtungsgrad bereits 5,20, im Jahre 1929 fast unverandert 5,19. Wird als obere Grenze fur Benzinbetrieb fur Personenkraftwagen etwa 5- bis 5,5fache, für Lastkraftwagen etwa 4,5- bis 5fache Verdichtung angesehen, so sind bei einer mittleren Verdichtung von 5,20 bzw. 4,8 noch

die meisten Personenwagen und ein großer Teil Lastkraftwagen mit Benzin betriebsfähig, nutzen also, mit klopffesten Kraftstoffen betrieben, welche Verdichtungsgrade von 5,5 bis 6,5 ermöglichen, deren Klopffestigkeit nicht aus. Fast gleiche Verdichtungshöhe finden wir heute bereits in Ländern, in denen klopffeste Kraftstoffe noch kaum eine Rolle spielen. Beispielsweise ist in den Vereinigten Staaten der mittlere Verdichtungsgrad der Personenkraftwagen von 4,65 im Jahre 1927 auch schon auf 5,07 im Jahre 1929 angewachsen. In England beträgt der mittlere Verdichtungsgrad für 1929 ebenfalls 5,20, in Frankreich 5,03. So hat heute eine internationale Angleichung der Verdichtungsgrade auf einer Linie stattgefunden, welche zwar Konzessionen an die neue Lage des Kraftstoffmarktes, anderseits aber im großen ganzen deutlich die bestimmte Absicht erkennen läßt, die Benzinbetriebsmöglichkeit nicht auszuschalten. Die Gründe für diese Entwicklung scheinen im folgenden zu liegen:

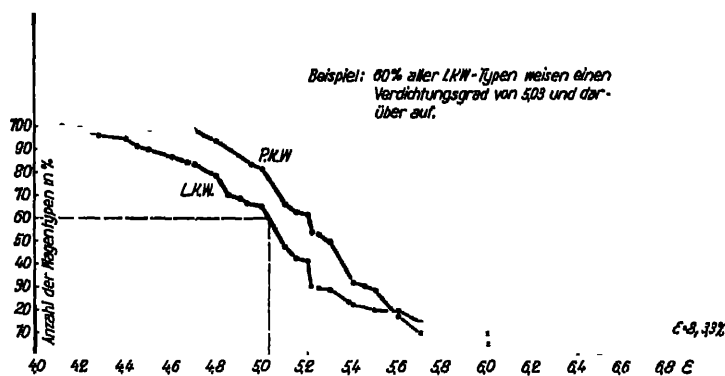



Abb. 1. Verdichtungsgrade deutscher Kraftwagen im Jahre 1929.

1. Die Automobilfabriken gehen gern den Weg der geringsten Schwierigkeiten und ziehen die Möglichkeit, ihre Motoren mit jedem, auch dem klopfschwächsten Kraftstoff betreiben und dadurch Reklamationen ihrer Kundschaft mit Sicherheit vermeiden zu können, der durch die höhere Verdichtung gegebenen wärmewirtschaftlichen Verbesserung vor.

2. In der erst durch die neue Kraftstoffentwicklung aufgerollten Frage der Verdichtungssteigerung vorhandener Motoren haben die Automobilfabriken häufig noch nicht genügende Betriebserfahrungen gesammelt, um sich zu entsprechenden Fabrikationsmaßnahmen an ihren sonst in jeder Richtung eingehend erprobten Motoren entschließen zu können.

Die so geschaffene Lage bietet daher dem Hersteller klopffester Kraftstoffe einen besonderen Anreiz, die motorischen Ausnutzungsmöglichkeiten seiner Fabrikate selbst in die Hand zu nehmen und weitgehend seinem Kundenkreis nutzbar zu machen. Insbesondere hat sich in Deutschland der Benzol-Verband für diese Frage interessiert und ein umfangreiches Erfahrungsmaterial in der Verdichtungsumstellung vor-

handener Motoren gesammelt, das geeignet zu sein scheint, einen allgemein interessierenden Beitrag zu der angeschnittenen Frage zu liefern. Es liegen hier etwa dreijährige Erfahrungen vor:

1. von gemeinsamen Versuchen mit Automobilfabriken, um die Ausnutzungsmöglichkeiten marktgängiger Benzin-, Benzol- und Alkoholgemische sowie unvermischten Benzols in den einzelnen Motorentypen durch Verdichtungssteigerung festzustellen,

2. von Versuchen an eigenen Prüfständen und im eigenen Fahrbetrieb, um Grenzverhältnisse zu erforschen und Dauererfahrungen zu sammeln;

3 von Verdichtungssteigerungen an Kundenfahrzeugen unter praktischer Nutzanwendung der Versuchsergebnisse zu 1 und 2.

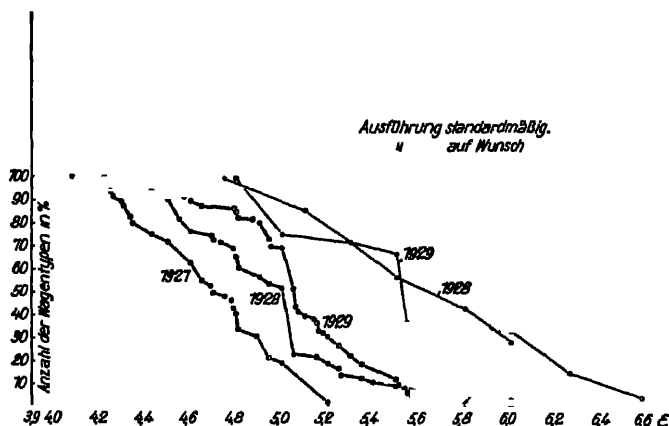



Abb 2. Verdichtungsgrade amerikanischer Personenwagen vom Jahre 1927—1929.

Die Auswertung dieses Materials sei nach folgenden Gesichtspunkten vorgenommen:

1. Auswirkung von Verdichtungssteigerungen auf Leistung und Verbrauch,

2. Druck- und Temperaturbeanspruchungen des Motors bei Verdichtungssteigerungen,

3. praktische Maßnahmen zu Verdichtungssteigerungen;

4. Auswirkung von Verdichtungssteigerungen unter Verwendung klopfschwacher Kraftstoffe.

II. Theoretische Betrachtungen

1. Verbesserung der Kraftstoffausnutzung

Einige kurze theoretische Betrachtungen seien der Mitteilung des praktischen Erfahrungsmaterials vorweggenommen Die Auswirkung einer Verdichtungssteigerung auf die Kraftstoffausnutzung des Motors ist auf folgende Einflüsse zurückzuführen·

1. Der innere thermische Wirkungsgrad wächst nach der Gleichung:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{(n-1)}} \qquad (1)$$

n = Exponent der polytropischen Expansion bzw. Kompression.
ε = siehe Tabelle.

2. Im verkleinerten Verbrennungsraum bleiben weniger Restgase zurück, welche die Frischladung verdünnen und diese unnötig erhitzen.

3. Durch größere räumliche Nähe und erhöhte Temperatur von Kraftstoff- und Luftteilchen wird die Verbrennung vollkommener. Die Temperatursteigerung muß sich besonders vorteilhaft im Drosselbetrieb mit seiner häufigen Überkühlung auf den Kraftstoffverbrauch auswirken.

4. Durch die Verkleinerung der gekühlten Wandungsflächen wird auch die Bildung von nicht vergasenden ölverdünnenden Randschichten vermindert.

5. Mit der Steigerung des Verbrennungsdruckes wachsen gleichzeitig die Reibungsverluste, und zwar um so mehr, je kräftiger das Triebwerk entsprechend der gesteigerten Beanspruchung dimensioniert werden muß, da die zusätzlichen Massendrücke der schwingenden Kolben und Pleuel noch zusätzliche Reibungskomponenten liefern.

Wägt man diese verschiedenen Einflüsse gegeneinander ab, so ergibt sich bei niedrigen und mittleren Verdichtungsgraden sicher eine die Kraftstoffausnutzung stark verbessernde Wirkung der Verdichtungssteigerung. Im oberen Verdichtungsbereich aber nimmt der Einfluß der Reibungsverluste stark zu, und es wird sich ein je nach Motorkonstruktion und Betriebsbedingungen schwankendes Verdichtungsoptimum ergeben, über das hinaus die zusätzlichen Verluste den zusätzlichen Gewinn übersteigen oder über das hinaus der erforderliche zusätzliche konstruktive Mehraufwand sich nicht mehr lohnt.

2. Verdichtungsgrenzen

Verdichtungssteigerungen sind stets mit erhöhten Verdichtungsenddrücken und -temperaturen verbunden. Diese lassen sich bei bestimmter Anfangstemperatur und bestimmtem Anfangsdruck der Verdichtung nach den bekannten Formeln für polytropische Zustandsänderung errechnen. Die Verdichtungssteigerung findet dann praktisch dort eine natürliche Grenze, wo Druck- und Temperaturbeanspruchung zur Selbstzündung des verdichteten Kraftstoffluftgemisches führt. Hier liegt eine Begrenzung der Verdichtungsmöglichkeiten. Eine weitere ergibt sich dann, wenn die mechanischen und Temperaturbeanspruchungen des Motors über das zulässige Maß hinausgehen. Für den Konstrukteur, der beim Entwurf einer Neukonstruktion die Beanspruchungen durch entsprechend starke Dimensionierung in den zulässigen Grenzen halten kann, ergibt sich hierbei die Grenze aus wirtschaftlichen Erwägungen, nämlich dann, wenn der konstruktive Mehraufwand zur Verbesserung der Wärmewirt-

schaft des Motors in keinem Verhaltnis mehr steht. Soll aber die Verdichtungssteigerung an einem vorhandenen Motor durchgeführt werden, so ergibt sich die praktische Grenze dort, wo Überbeanspruchungen eintreten, welche zu rascherem Verschleiß bzw. zu Motorschadigungen führen. Maßgebend fur die Beanspruchung der Motoren sind vor allem Verbrennungs- und Auspuffdruck, sowie Verbrennungs- und Auspufftemperaturen. Diese seien daher einer naheren Betrachtung unterzogen.

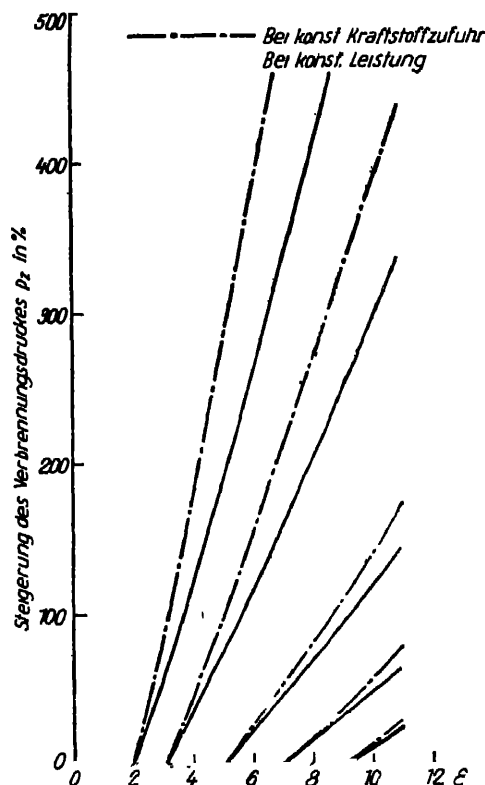



Abb. 3. Einfluß des Verdichtungsgrades auf den Verbrennungsenddruck

Sie lassen sich rein rechnerisch fur den idealen Kreisprozeß erfassen. Es ergibt sich zunachst der Verbrennungshöchstdruck nach der Gleichung:

$$p_z = \frac{Q}{A}(n-1)(\varepsilon-1) + p_a \varepsilon^n \text{ in kg/m}^2 . \tag{2}$$

Q = spezifischer Warmegehalt der Ladung in kcal/m³.
p_a = Kompr.-Anfangsdruck in kg/m².
A = mechanisches Warmeäquivalent in kcal/mkg.

Die Drucksteigerungen sind nach dieser Rechnung im unteren Verdichtungsbereich großer als im oberen Sie erreichen bei normalen Verdichtungsgraden noch recht beachtliche Hohe (Abb. 3). Z. B. beträgt

bei konstanter Leistung (die den praktischen Verhaltnissen am nächsten kommt)

für eine Verdichtungssteigerung von 5 auf 6.1 die Drucksteigerung 22 %,
für eine Verdichtungssteigerung von 5 auf 7.1 die Drucksteigerung 44 %.

Die wirklichen Verhaltnisse gibt diese Rechnung nicht wieder, da fur den wirklichen Arbeitsvorgang die Voraussetzungen des idealen Kreisprozesses nicht zutreffen. Insbesondere geht die Verbrennung nicht zeitlos und ohne Warmeverlust vor sich, ferner ist ihr Zeitaufwand bei den verschiedenen Kraftstoffen verschieden. Die klopfschwachen Kraftstoffe rufen durch ihre brisante Verbrennung hohere Druckbeanspruchungen

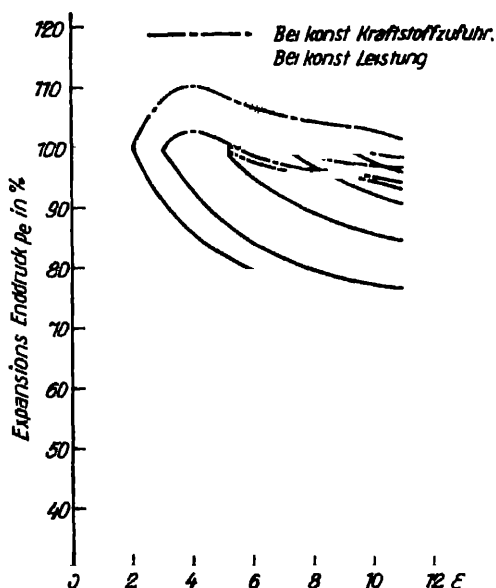



Abb. 4. Einfluß des Verdichtungsgrades auf den Auspuffdruck.

hervor als die klopffesten durch ihren weicheren Verbrennungscharakter. Es ist ferner die Frage, in welchem Maße die Verbrennungshochstdrücke, die nur einen Bruchteil der gesamten Betriebszeit des Motors für sich in Anspruch nehmen, uberhaupt gegenuber der normalen im Teillastbetrieb mit seinen ständigen Massendrucken stattfindenden Betriebsweise den Verschleiß beeinflussen können. Auch diese Frage entzieht sich aber vorerst der Berechnung, und so können die wirklichen Verbrennungsdrücke und die wirklich zulassigen Beanspruchungsgrenzen nur auf empirischem Wege gefunden werden

Aus dem idealen Kreisprozeß ergibt sich weiter fur den Auspuffdruck die Gleichung:

$$p_e = \frac{Q}{A} \cdot \frac{(n-1)(\varepsilon - 1)}{\varepsilon^n} + p_a \text{ in kg/m}^2. \tag{3}$$

Der Auspuffdruck und mit ihm die Materialbeanspruchung sinkt demnach bei gleicher Leistungsausgabe (Abb. 4)

für eine Verdichtungssteigerung von 5 auf 6:1 um 5%,
für eine Verdichtungssteigerung von 5 auf 7:1 um 8%

ab. Diese rechnerisch ermittelten Druckveränderungen dürften angenähert den wirklichen Verhältnissen entsprechen.

In gleicher Weise lassen sich die Wärmebeanspruchungen errechnen. Es ergibt sich zunächst die Verbrennungshöchsttemperatur aus der Gleichung.

$$T_z = \frac{Q}{A} \cdot \frac{T_a (n-1)(\varepsilon - 1)}{T_a \cdot \varepsilon} + T_a \varepsilon^{n-1} \text{ in } ^\circ\text{C abs.} \qquad (4)$$

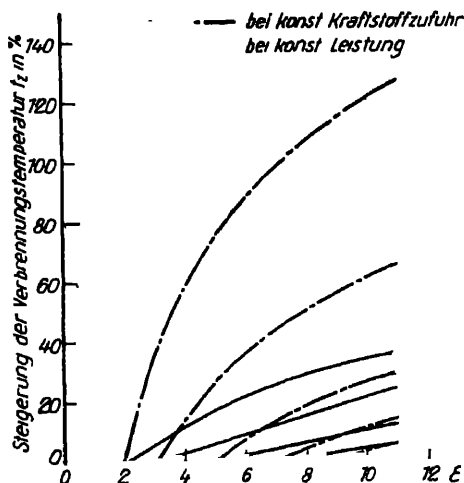



Abb. 5. Einfluß des Verdichtungsgrades auf die Verbrennungsendtemperatur.

Die Verbrennungshöchsttemperatur nimmt mit der Verdichtung zu (Abb. 5), aber bei weitem nicht in dem Maße wie die Drucksteigerung. Es beträgt wieder bei konstanter Leistung

für eine Verdichtungssteigerung von 5 auf 6·1 der Temperaturanstieg 2%,
für eine Verdichtungssteigerung von 5 auf 7:1 der Temperaturanstieg 5%.

Auch die Voraussetzungen dieser Temperaturrechnung weichen in gleicher Weise von den wirklichen Verhältnissen ab, wie die der errechneten Verbrennungsdrucke Auch zur Ermittlung der wirklichen Verbrennungshöchsttemperaturen und damit der aus ihnen resultierenden Wärmebeanspruchungen ist nur der Weg des praktischen Versuches möglich.

Schließlich errechnen sich die Auspufftemperaturen nach der Gleichung:

$$T_e = \frac{Q}{A} \cdot \frac{T_a}{p_a} \frac{(n-1)(\varepsilon - 1)}{\varepsilon^n} + T_a \text{ in } ^\circ\text{C abs.} \qquad (5)$$

T_a = Kompr.-Anfangstemperatur in ° C abs

Die Auspufftemperaturen sinken mit steigender Verdichtung ab (Abb. 6). Bei gleicher Leistungsausgabe betragt

für eine Verdichtungssteigerung von 5 auf 6 : 1 der Temperaturabfall 8 %,
für eine Verdichtungssteigerung von 5 auf 7 : 1 der Temperaturabfall 14 %.

Die wesentliche praktische Bedeutung dieser Temperaturabnahme liegt in der Wärmeentlastung der Auslaßventile und damit auch des gesamten Kühlsystems. Ihre Tatsache wird durch die praktischen Erfahrungen und Messungen voll bestatigt. Dieses Ergebnis erhöhter

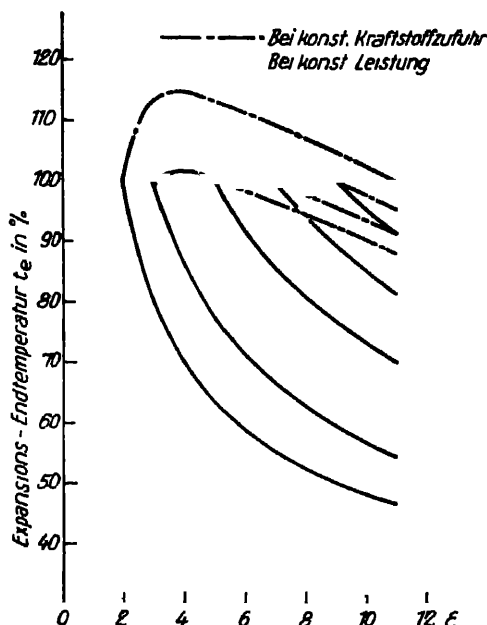



Abb 6. Einfluß des Verdichtungsgrades auf die Auspufftemperatur.

Verbrennungs- und erniedrigter Auspufftemperaturen läßt die Frage nach dem mittleren Temperaturzustand des Arbeitsprozesses entstehen.

Die mittlere Temperatur als Funktion des Kolbenweges wird den wirklichen Verhaltnissen weniger entsprechen als die Mittelwertbildung in Abhangigkeit vom Kurbelwinkel, also von der Zeit. Die erstere laßt sich aber rechnerisch durch folgende Gleichung erfassen:

$$T_m = 0{,}25\left[\left(\frac{Q_1}{A \cdot V_H} \cdot \frac{T_a}{p_a} \cdot \frac{(n-1)(\varepsilon-1)}{\varepsilon^n} + T_a\right)\left(1 + \frac{\varepsilon}{(\varepsilon-1)(2-n)}\left\{1 - \frac{1}{\varepsilon^{2-n}}\right\}\right) + \frac{T_a \cdot \varepsilon}{(\varepsilon-1)(2-n)}\left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{2-n}}\right) + T_a\right] \text{ in } {}^\circ\text{C abs.}$$

Die mittlere Arbeitstemperatur als Zeitmittel hingegen ist auf graphischem Wege (Abb. 7) feststellbar. Zwischen beiden bestehen keine wesentlichen Unterschiede.

Es zeigt sich, daß auch die mittlere Temperatur des Arbeitsprozesses mit wachsender Verdichtung bei konstanter Leistung abnimmt, und zwar

für eine Verdichtungssteigerung von 5 auf 6:1 um 3,5%,
für eine Verdichtungssteigerung von 5 auf 7:1 um 6,0%.

Der scheinbare Widerspruch zwischen diesen Ergebnissen eines niedrigeren Wärmedauerzustandes und der praktischen Erfahrung von Wärmestauungen in Zündkerzen und Kolben ist aus den besonders schwierigen Wärmeableitungs- und -ausgleichsverhältnissen dieser nur mittelbar gekühlten Teile des Verbrennungsraumes erklärlich. Ab-

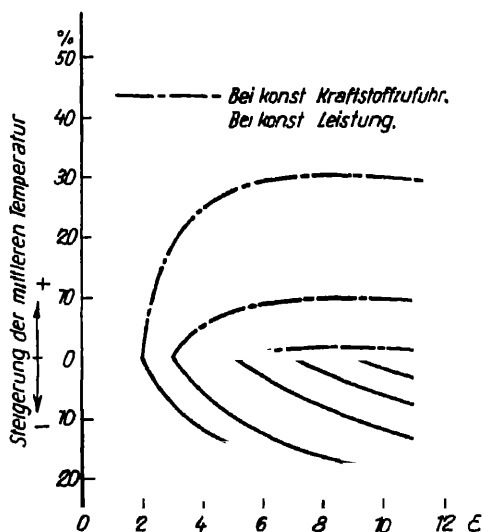



Abb 7. Einfluß des Verdichtungsgrades auf die mittlere Temperatur des Arbeitsprozesses.

gesehen von dieser Einzelerscheinung werden mit steigender Verdichtung die Wärmebeanspruchungen aller sonstigen Motorteile verringert.

Diese kurzen Betrachtungen legen kurz die rechnerischen Möglichkeiten, aber auch Unzulänglichkeiten zur Erforschung der Verdichtungsgrenzen klar und zeigen die Notwendigkeit, die Theorie eingehend durch praktische Versuche und Erfahrungen zu ergänzen.

III. Praktische Versuchsergebnisse gebräuchlicher Motorentypen

Aus dem vorliegenden Material wurden 76 einwandfreie Versuchsfälle in der Tabelle einschließlich aller die vorliegende Frage berührenden Zahlenwerte zusammengestellt. Sie erstrecken sich auf normale Automobilmotoren, an denen außer der Verdichtungssteigerung keinerlei konstruktive Abänderung getroffen wurde. Sie erstrecken sich ferner vom Landstraßenversuch im Kundendienst über die Bremsung auf der „rollenden Straße“ bis zum Motorenprüfstand der Automobil-

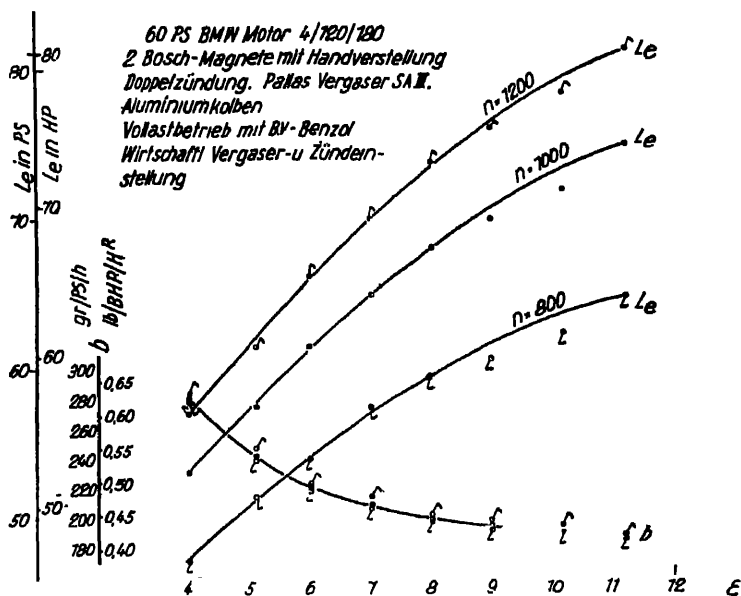



Abb 8 Hochverdichtungsversuche am BMW-Lastwagenmotor

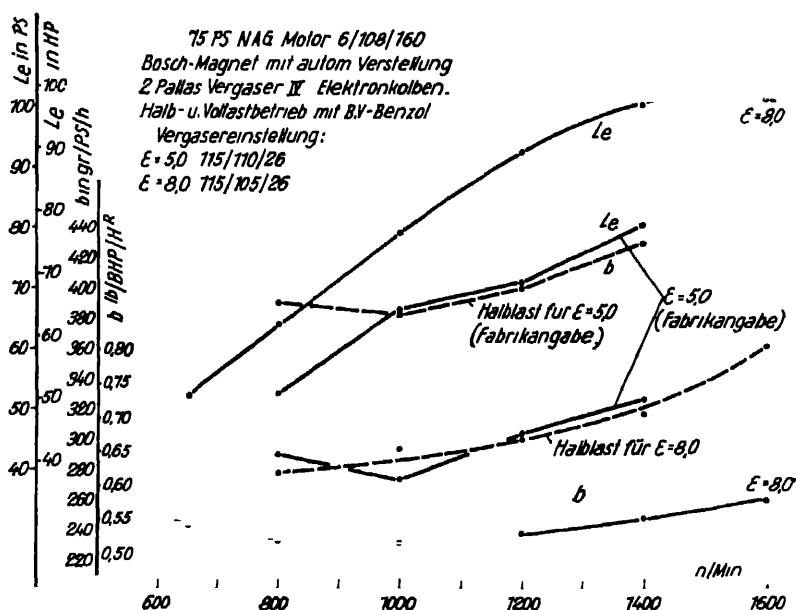



Abb. 9 Hochverdichtungsversuche am NAG-Omnibus-Motor.

fabriken. Obgleich die Einregulierung vor und nach der Verdichtungsumstellung stets mit der gleichen Sorgfalt erfolgte, so erheben doch die Motorenprüfstandversuche durch ihre Mindestzahl an Fehlerquellen den größten Anspruch auf Genauigkeit Die Verdichtungsgrade wurden durchweg durch Ausmessung des Verbrennungsraumes bestimmt, die Einregulierung jeweils auf niedrigsten Verbrauch oder gleiche Leistung vorgenommen und die Landstraßenversuche unter genau gleichen Fahrverhaltnissen durchgeführt. Die Auswertung der Tabelle sei nach den schon genannten Gesichtspunkten nachfolgend vorgenommen·

1. Auswirkung von Verdichtungssteigerungen auf Leistung und Verbrauch

Als Ergänzung der Haupttabelle sei zunachst eine Reihe vollstandiger Leistungs- und Verbrauchskurven verschiedener Motorentypen von Prüfstand-, und zwar großtenteils Fabrikversuchen wiedergegeben.

Abb. 8 zeigt zunachst einen an einem 4-Zylinder-8,2-l-Motor der Bayerischen Motorenwerke im B.V.-Prüffeld vorgenommenen Grenzversuch, der bei 11,2facher Verdichtung bei 800 U/min. Vollastbetrieb noch einwandfreien, nicht übermaßig harten sowie klopffreien Benzolbetrieb ergab. Beachtenswert ist der noch bis zu den hochsten Verdichtungsgraden fast gleichbleibende Leistungszuwachs sowie das Absinken des spezifischen Kraftstoffverbrauchs bis auf 185 g/PSh, d h. bis in den Verbrauchsbereich guter Dieselmotoren.

Abb. 9 gibt den Fabrikversuch an einem 6-Zylinder-8,8-l-N.A.G.-Lastwagenmotor wieder. Bemerkenswert ist die im Halblast- gegenüber dem Vollastbetrieb vergroßerte Kraftstoffersparnis

Abb. 10 zeigt Fabrikversuche bei der „Vomag" an einem 4-Zylinder-7,5-l-Motor, die besonders günstige Auswirkung der Verdichtungssteigerung ergaben; Abb. 11 Drosselkurven eines 6-Zylinder-11,5-l-N A.G.-Triebwagenmotors, der die Zunahme der Kraftstoffersparnis mit Abnahme der Belastung bei Verdichtungssteigerung von 4,6 auf 6,0:1 gut erkennen laßt. Abb. 12 zeigt entsprechende Werte des 1,5-l-Wanderer-Personenwagenmotors. Der Kurvenverlauf ist in seiner Charakteristik der gleiche wie bei den Lastwagenmaschinen

Weiterhin sind die gesamten Leistungs- und Verbrauchsergebnisse der Tabelle in folgender Form (Abb. 13) zusammengefaßt:

Ein Polarstrahl fuhrt vom alten Verdichtungsgrad bis zur Höhe der erzielten Leistungssteigerung bzw. Kraftstoffersparnis Δb, aber nicht senkrecht, sondern mit einer solchen Neigung, daß seine senkrechte Projektion den neuen Verdichtungsgrad auf der Abszisse abschneidet. Sein Neigungswinkel zur Abszissenachse ist dadurch gleichzeitig ein Maß fur den spezifischen Δb bzw. ΔL-Wert je gesteigerten Verdichtungsgrad Irgendeine scharf ausgepragte Gesetzmaßigkeit ist in dieser Darstellung nicht zu erkennen und auch bei der außerordentlichen Verschiedenheit der untersuchten Motorentypen kaum zu erwarten Bemerkenswert ist die absolute Große der Δb und ΔL-Werte, ferner ihre Zunahme mit steigender Verdichtung, sowie einige aufallende Hochstwerte im unteren Verdichtungsbereich. Wesentlich ist ferner die Tatsache, daß die aus der Änderung von η_{th} sich ergebenden rechnerischen

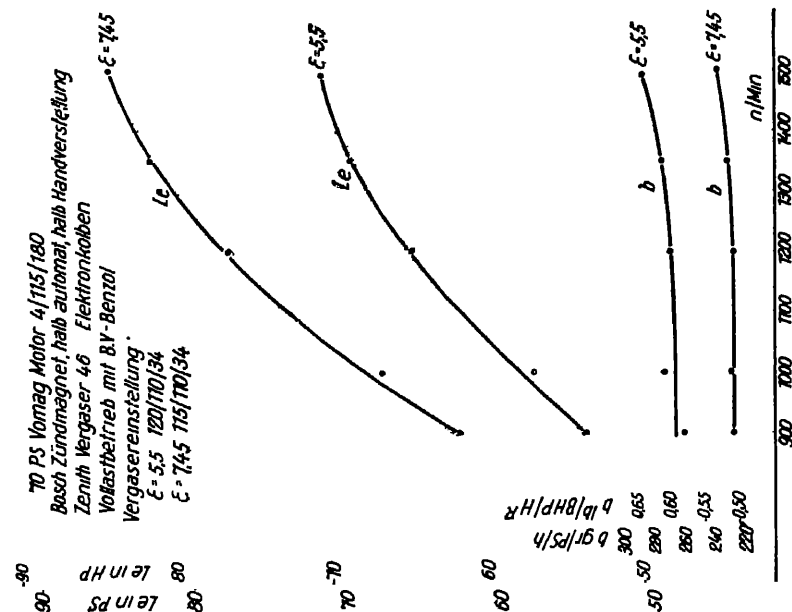



Abb 10 Hochverdichtungsversuche am Vomag-Lastwagenmotor.

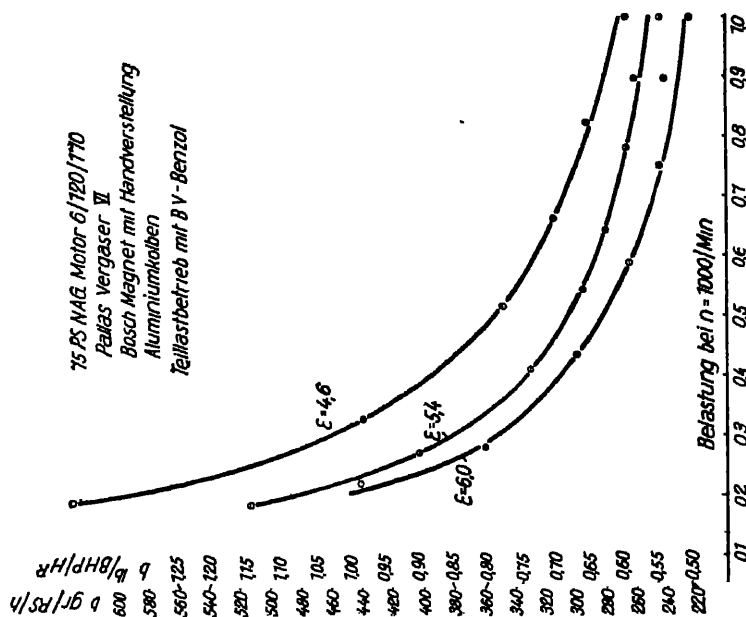



Abb. 11. Hochverdichtungsversuche am NAG-Triebwagenmotor.

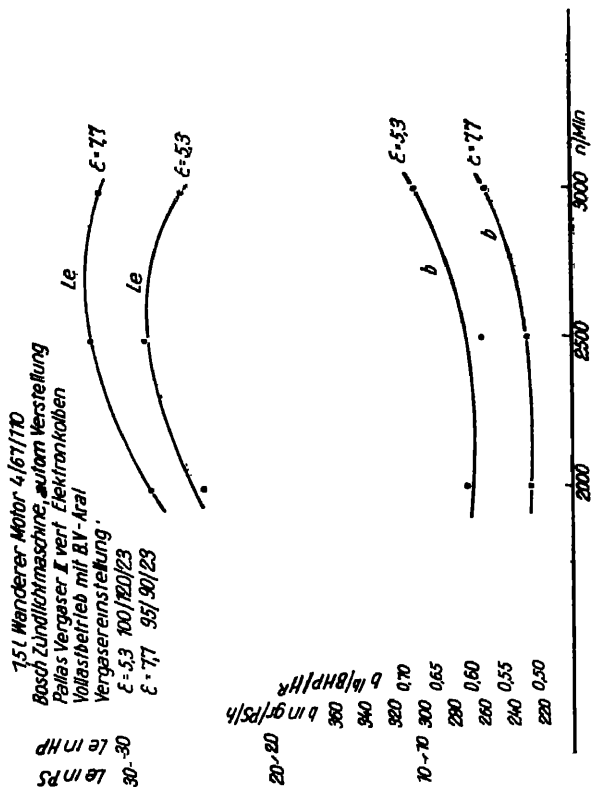



Abb. 12. Hochverdichtungsversuche am Wanderer-Personenwagenmotor.

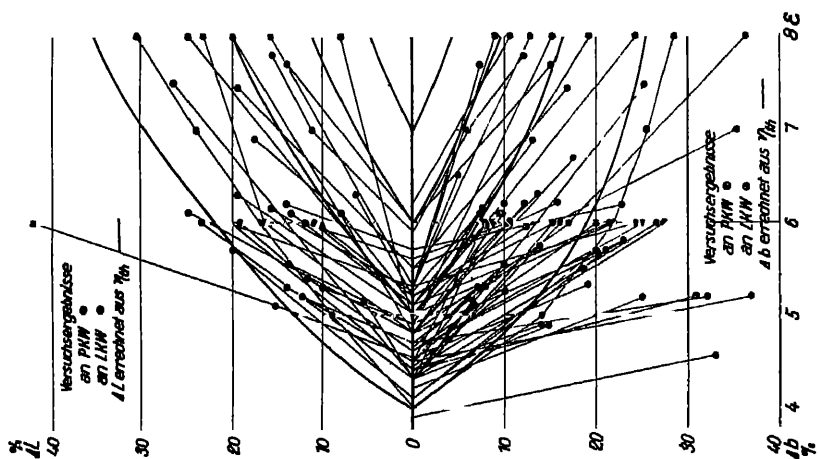



Abb. 13. Leistungssteigerung und Verbrauchsminderung durch erhöhte Verdichtung.

Werte von der Wirklichkeit stets überholt werden. Für die meist übliche Verdichtungssteigerung von Benzin- auf Gemischbetrieb, d. h. von etwa 4,7- bis 5,3- auf 5,5- bis 6,5fache Verdichtung, kann etwa mit 10 bis 20% Leistungssteigerung und Verbrauchsminderung gerechnet werden. Drei Grenzfälle seien besonders hervorgehoben:

1. der B.M.W.-Motor mit 43% ΔL, 34% Δb für Verdichtungssteigerung von 4,0 auf 11,2:1;

2. der alte Ford, Modell T, der für Verdichtungssteigerung von 3,9 auf 4,5:1 eine Verbrauchsminderung von 33% ergab;

3. der neue Ford, Modell A, der bei 5,8facher Verdichtung eine Beschleunigungszeit von 12,5 s für Geschwindigkeitssteigerung von 10 auf 60 km/h und einen Kraftstoffverbrauch von 8,5 l/100 km erreichte.

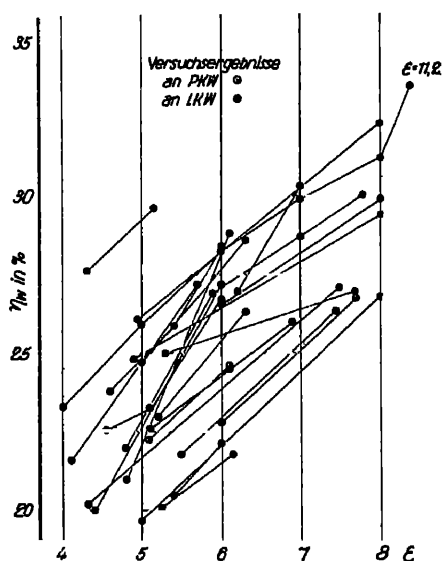



Abb. 14 Eff. Kraftstoffwirkungsgrad bei erhöhter Verdichtung

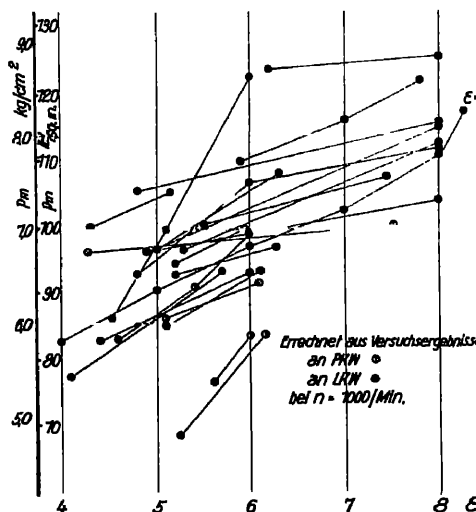



Abb. 15. Eff mittlerer Arbeitsdruck bei erhöhter Verdichtung.

In der gleichen Weise sind die erzielten effektiven Kraftstoffwirkungsgrade graphisch dargestellt (Abb. 14). Ihre mit höherer Verdichtung steigende Tendenz ist deutlich erkennbar, ihre absolute Größe bewegt sich zwischen 20 bis 35%. In dem Bereich von 5,5- bis 6,5facher Verdichtung werden Kraftstoffwirkungsgrade von 24 bis 28% erreicht

Schließlich sind die mittleren effektiven Arbeitsdrucke bei 1000 U/min. Vollastbetrieb zusammengestellt, welche vergleichbare Werte der Ladungsausnutzung liefern (Abb. 15). Die gemessenen Werte liegen zwischen 4,8 und 8,8 kg/cm². Im Bereich 5,5- bis 6,5facher Verdichtung ergibt sich ein Mittelwert von etwa 7 kg/cm².

2. Druck- und Temperaturbeanspruchung des Motors bei Verdichtungssteigerungen

Weitere Aufschlüsse gibt das vorliegende Versuchsmaterial uber die praktischen Beanspruchungsverhaltnisse der Motoren. Es wurden im eigenen Wagenpark des B V. eingehende jahrelange Dauererfahrungen gesammelt, bevor die Kundenbearbeitung im großen Umfange erfolgte. Diese eigenen Versuche erstreckten sich bisher auf 45 Last- und

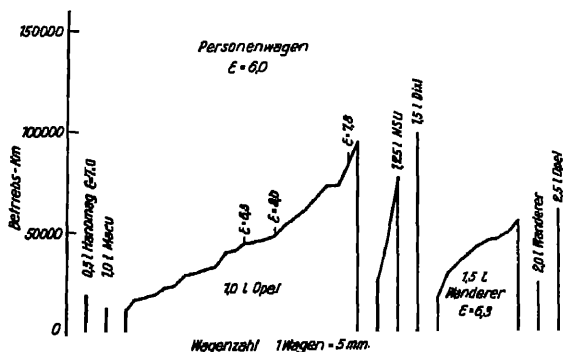



Abb. 16. Betriebsdauer unter Kontrolle stehender Personenwagen mit erhohter Verdichtung am 1. 10. 1929

Tankwagen sowie 40 Personenwagen. Die unter ständiger Kontrolle zurückgelegten Kilometerzahlen dieser Fahrzeuge sind so betrachtlich, daß die gewonnenen Werte ein sicheres Bild über die Beanspruchungsverhaltnisse im Dauerbetrieb liefern. Die Wertung erstreckt sich nur

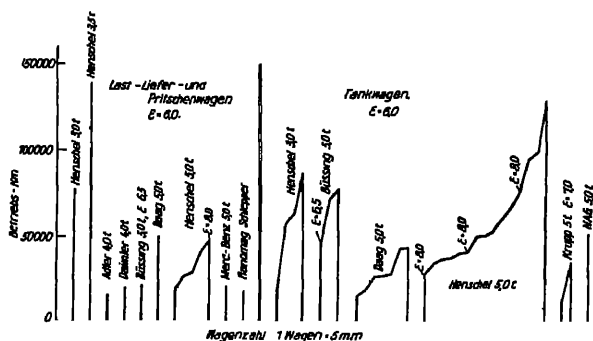



Abb 17. Betriebsdauer unter Kontrolle stehender Lastwagen mit erhohter Verdichtung am 1 10 1929.

auf Fahrzeuge, deren Verdichtung nachtraglich gesteigert wurde, nicht aber auf Motoren mit schon fabrikseitig vorgesehenen hoheren Verdichtungsgraden, z. B. nicht auf Krupp-Motoren oder den kleinen 1-Zylinder-Hanomag, die schon normalerweise einen Verdichtungsgrad von 6·1 aufweisen. Die graphische Darstellung (Abb. 16 und 17) zeigt sogar vereinzelt für Last- und Personenwagen Betriebskilometer-

zahlen von 100000 und daruber, wahrend über 50000 km in zahlreichen Fallen erreicht wurden. Die Verdichtungsgrade betragen großtenteils 6:1, vereinzelt auch darüber bis 8:1. Die an diesen Fahrzeugen gesammelten Erfahrungen sind durchweg die günstigsten. Abgesehen von dem Einzelfall einer Motorentype, deren schon normalerweise bestehende Neigung zu Lagerschäden sich auch nach der Verdichtungssteigerung bemerkbar machte, waren an keinem der Versuchsfahrzeuge irgendwelche anormalen Abnutzungs- oder Beanspruchungserscheinungen festzustellen. Als Betriebsstoff wurde bei den Personenwagentypen meist Benzin-Benzol-Gemisch, bei den Lastwagen mit ihren großen Klopffestigkeitsansprüchen bei 6facher Verdichtung und daruber unvermischtes Benzol benutzt. Nach diesem Ergebnis laßt sich schließen, daß der den klopffesten Benzin-Benzol- und Alkoholgemischen — deren Verwendung mit der Verdichtungssteigerung zwangsläufig verbunden ist — eigentumliche weiche Verbrennungscharakter Überbeanspruchungen, wie sie bei Verwendung brisant verbrennender Kraftstoffe entstehen können, im Bereich der angewandten mittleren Steigerungen bis auf 7- und 8fache Verdichtung verhindert und derartige Verdichtungssteigerungen für den normalen Motor ohne weiteres zuläßt.

Auf Grund dieser Erfahrungen wurden dann in mehreren hundert Fällen Fahrzeuge des Kundenkreises durchweg auf 5,5- bis 6,5fache Verdichtung umgestellt. Auch die hierbei im Dauerbetrieb gesammelten Erfahrungen sind als vollig befriedigend anzusprechen. Gleichartige Erfahrungen mussen bei den verschiedenen deutschen und ausländischen Automobilfabriken vorliegen, welche ihren Kunden auf Verlangen, ohne irgendwelche sonstige Änderung am Motor vorzunehmen, nur mit der Bedingung, klopffeste Kraftstoffe zu benutzen, die niedrigverdichtenden Benzinkopfe gegen Hochverdichtungsköpfe für Gemisch- und Benzolbetrieb austauschen.

In allen Fällen erfolgte die Verdichtungsumstellung nicht schematisch, sondern unter sorgfaltiger Berücksichtigung der besonderen Betriebs- und Konstruktionsverhältnisse des Motors. Insbesondere wurde darauf geachtet, daß der normale weiche Motorgang durch die Umstellung nicht beeinflußt wurde. Ein Übergang zu hartem Motorgang — das außere Zeichen für erhöhte innere Beanspruchungen — zeigt sich gelegentlich ziemlich schroff schon innerhalb enger Verdichtungsgrenzen. Z B. ergab ein bekannter 4 Zylinder 9,7-l-Lastwagenmotor, mit hängenden Ventilen, bei 6facher Verdichtung unveranderten, bei 8facher bereits auffallend harten Motorgang. Ein 6 Zylinder 2-l-Personenwagenmotor mit Ricardokopf zeigte sich im Bereich etwa 6facher Verdichtung bei 1 bis 2 mm Kolbenerniedrigung wie umgewandelt. Der neue Ford zeigte bei 6facher ziemlich harten, bei 5,8facher Verdichtung normalen Motorgang bei gleichen Leistungs- und Verbrauchswerten. Solche offensichtlich kritischen Zustande (Triebwerksschwingungen, Gasstromungsveranderungen) sind schwer vorauszusehen und nur durch Spezialerfahrung an dem betreffenden Motortyp vermeidbar.

Es wurden ferner Erfahrungen in der Auswirkung der Verdichtungssteigerung auf die Warmebeanspruchung des Motors gesammelt. Der

kühlere Betriebszustand eines Motors bei hoher Verdichtung, insbesondere die niedrigere Temperatur der Auspuffgase und -wege und der geringere Kühlungsbedarf sind bekannt und stehen mit der besseren Wärmeausnutzung der hochverdichteten Maschine in Einklang. Anderseits steigen die Verbrennungstemperaturen und mit ihnen die Wärmebeanspruchungen des Materials während der Verbrennung. Diesen erhöhten Beanspruchungen zeigen sich die direkt gekühlten Teile des Verbrennungsraumes stets gewachsen, da bei ihnen für sofortigen Wärmeausgleich gesorgt ist. Anders steht es mit den nur indirekt gekühlten Kerzen und Kolbenböden (die Einlaßventile sind stets hinreichend gekühlt, die Auslaßventile liegen im kühleren Auspuffstrom), welche bei gesteigerter Verdichtung aus schon genannten Gründen leicht Wärmestauungen und dadurch thermischen Überbeanspruchungen ausgesetzt sind und zu Glühzündungen führen können. Aber auch diese Schwierigkeiten lassen sich bei der Neukonstruktion, wie bei vorhandenen Motorentypen durch Verbesserung der Wärmeableitung, durch größere Fließquerschnitte, sowie Verwendung von Baustoff größerer Wärmeleitfähigkeit (Leichtmetallkolben) stets beherrschen. In der Umstellungspraxis des Benzol-Verbandes wurden stets Leichtmetallkolben sowie Zündkerzen von hohem Glühzündungswert mit bestem Erfolg verwendet.

3. Maßnahmen zu Verdichtungssteigerungen

a. Konstruktive Maßnahmen

Die praktische Durchführung der Verdichtungssteigerung geschah mit den bei vorhandenen Motoren gegebenen Mitteln, und zwar durch Einbau überhöhter Kolben, durch Abfräsen des Zylinderkopfes bzw. -blockes, oder Benutzung einer dünneren Zylinderkopfdichtung. Die jeweilige Auswahl einer dieser Maßnahmen erfolgte nach konstruktiven Erwägungen sowie nach der Klopffestigkeit des zu benutzenden Kraftstoffes. Wurden erhebliche Verdichtungssteigerungen beabsichtigt, so boten nur Kolbenüberhöhungen die Möglichkeit hierzu, denn beim Abfräsen der Zylinderköpfe kamen höchstens 2 bis 2,5 mm in Frage, um welche die Wandstärke geschwächt werden durfte. Anderseits war Kolbenüberhöhung in vielen Fällen nicht empfehlenswert; es sei, daß die Zündkerzenöffnungen überdeckt wurden, die Decke des Zylinderkopfes keine Überhöhung mehr zuließ, oder der Verbrennungsraum durch die Überhöhung zu ungünstige Form annahm. Es vertrugen Zylinder mit großem Durchmesser für gleiche Kraftstoffe stets nicht so hohe Verdichtung wie solche von kleinerer Bohrung. Abfräsen der Zylinderköpfe wieder kam nur für Motoren mit abnehmbarem Zylinderkopf und nicht in der Bearbeitungsfläche liegenden Ventilen in Frage.

Bei den Prüfstand- und Fahrversuchen wurden vorwiegend überhöhte Kolben angewandt, bei den Umstellungen im Kundendienst nur dann, wenn nichts anderes möglich und der Kolbenwechsel an sich erforderlich war, so daß hier nur die unwesentlichen Mehrkosten für wenige Millimeter Überhöhung entstanden. Diese Überhöhung beträgt

beispielsweise für eine Verdichtungssteigerung von 5 auf 6:1 bei

90 mm Hub 4,5 mm,
180 „ „ 9 „

Meist wurden der besseren Wärmeleitung halber Leichtmetallkolben verwendet, aber auch Graugußmaterial ergab bei neuzeitlicher Kolbenkonstruktion keine Schwierigkeiten. Z. B. zeigten sich die Graugußkolben eines Omnibusmotors von 125 mm Bohrung einer Verdichtungssteigerung von 5,3 auf 6,5:1, allerdings bei gleichzeitigem Übergang auf Alkoholgemisch mit seiner kühleren Vergasung ohne weiteres gewachsen. Es sei allerdings dahingestellt, inwieweit durch die gesteigerte Kolbenbodenwärme der Füllungsgrad und damit die Verdichtungsvorteile verringert wurden.

Bei Verwendung abgefräster Zylinderköpfe oder dünner Dichtungen brauchten die Abflachungen etwa nur die halbe Höhe zu erhalten, die bei der Überhöhung von Kolben erforderlich war, da die Querschnittsflächen des Verbrennungsraumes meist etwa die doppelte Größe derjenigen der Zylinderbohrung bzw des Kolbenbodens aufweisen. Von diesen Hochverdichtungsköpfen, auch von den dünnen, nur ca. 0,6 bis 0,9 mm starken Dichtungen gegenüber der üblichen Stärke von etwa 1,8 mm wurde als raschen und billigen Umstellungsmitteln in großem Umfange Gebrauch gemacht. Es entfallen etwa 30% der gesamten Umstellungen auf die Anwendung von überhöhten Kolben, 70% auf die letztgenannte Maßnahme. In einem Einzelfalle (Ford-Modell A) konnte die Verdichtungssteigerung nur durch Ausgießen der Zylinderkopfhöhlung mit Schweißeisen erreicht werden. Trotz einer Wandstärke von etwa 20 mm und entsprechender Versenkung der Zündkerzenelektroden ergab dieser Kopf keine Wärmeschwierigkeiten während einer Betriebszeit von etwa 10000 km und keine dem späteren mit einem wärmetechnisch richtigen Kopf ausgeführten Versuch nachstehenden Leistungs- und Verbrauchsziffern. Letzterer Kopf war der serienmäßige Benzinkopf der 2-l-Type, welche unter Einlage doppelter Zylinderkopfdichtungen die fast gleiche Verdichtungssteigerung auf 5,8 ergab.

b. *Einregulierung*

Hand in Hand mit diesen Konstruktionsmaßnahmen läuft die Einregulierung von Vergaser und Zündung auf den neuen Betriebszustand. Die verbesserte Kraftstoffausnutzung bei höherer Verdichtung ermöglicht eine Verkleinerung der Düsen, während die Vergrößerung der Reaktionsgeschwindigkeit ein Zurücksetzen des Zündzeitpunktes erforderlich macht. Um aus dem Versuchsmaterial vergleichbare Werte von der Größe der Düsenveränderungen zu erhalten, wurden die vorgenommenen Querschnittsveränderungen der Haupt-, Korrekturdüse und des Zerstäubers auf einen „reduzierten Düsenquerschnitt“ umgerechnet, der sich ergäbe, wenn ohne Änderung von Korrektur- und Zerstäubergröße nur die Hauptdüse entsprechend einreguliert würde. Die Verkleinerung des reduzierten Düsenquerschnittes verläuft mit der Verdichtungs-

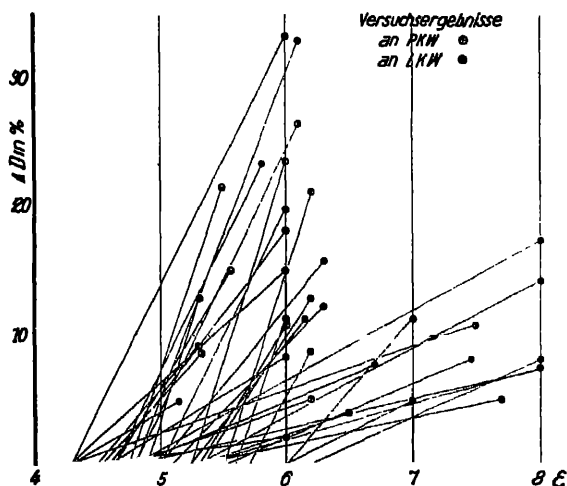



Abb. 18 Querschnittsverringerung der Kraftstoffzufuhr reduziert auf die Hauptdüse bei erhohter Verdichtung.

steigerung (Abb. 18) in ähnlicher Weise wie die Verbrauchsminderung, sie erreicht ca. 34% und beträgt im mittleren Verdichtungsbereich für 1° Verdichtungssteigerung ca. 15%.

Die entsprechenden Einstellungen des Zündzeitpunktes sind in Graden-Kurbelwinkel verzeichnet (Abb 19). Es ist zunächst ganz allgemein eine Verringerung der Vorzundung mit steigender Verdichtung festzustellen. Die erforderlichen Veränderungen sind meist verhältnismaßig gering — ca 3 bis 5° je Grad Verdichtungssteigerung —, aber doch so verschieden, daß allgemeine Regeln nicht aufgestellt werden können.

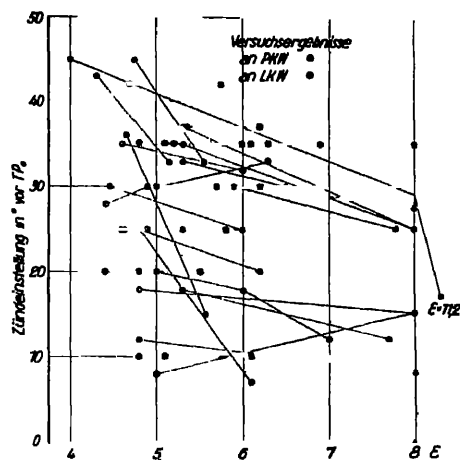



Abb. 19 Verminderung der Vorzundung bei erhohter Verdichtung

Als zur normalen Einregulierung gehörig kann auch die Auswahl der richtigen Kerze angesehen werden. Der Wärmezustand der Zundkerze muß stets in den engen Grenzen zwischen Selbstreinigungs- (zur Verbrennung auftreffenden Öles) und Gluhzundungstemperatur abgestimmt sein, so daß jede Verdichtungsanderung mit den veranderten Wärmeverhaltnissen auch die Auswahl einer anderen entsprechend abgestimmten Kerze fordert. Die praktische Erfahrung lehrt, daß in jedem Falle die Gluhzündungswerte genügende Große aufweisen mussen, wahrend zu glühfeste Kerzen, auch wenn die Selbstreinigungstemperatur

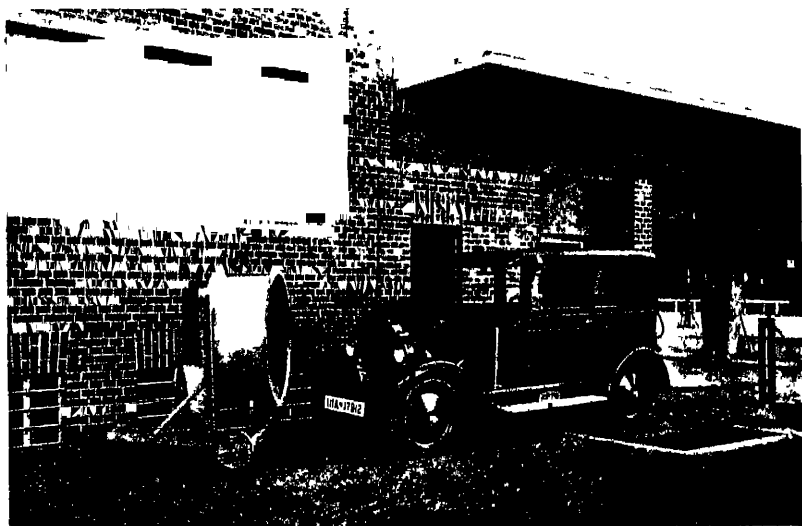



Abb. 20. Wagenprufstand, Gesamtansicht

nicht ganz erreicht wird, kaum Verölungsschwierigkeiten ergeben. Es genugten im praktischen Fahrbetrieb beispielsweise Boschkerzen vom Gluhzündungswert von 130 bis 150, sowie Championkerzen Nr. 12 bis 14 allen Anforderungen der erhohten Verdichtung. Kolben- oder Ventilschwierigkeiten durch Glühzündungen traten, von einem Einzelfalle abgesehen, nicht auf. Auch das vollige Fehlen von Anlaßschwierigkeiten infolge zu großen Anlaßwiderstandes ist zu erwahnen. Die Einregulierungen erfolgten bei Prüfstandversuchen mit üblichen Prüfstandmitteln, im Fahrbetrieb mit Hilfe genauer Verbrauchs- und Beschleunigungsmessungen, sowie Steigprufungen und schließlich mit Hilfe von „rollenden Straßen", welche durch rasche Bereitschaft und einfache Bedienungsmoglichkeit dem praktischen Einregulierungsdienst des B V. zuganglich gemacht waren (Abb. 20 und 21).

Abb. 21 Wagenprüfstand, Kraftübertragung.

4. Auswirkung von Verdichtungssteigerungen unter Verwendung klopfschwacher Kraftstoffe

Die erörterten Versuche dienten der Aufgabe, die jeweils verfügbaren mehr oder weniger klopffesten Kraftstoffe motorisch möglichst vollkommen auszunutzen. Als die günstigen Ergebnisse vorlagen, entstand der Wunsch, die Verdichtungssteigerung in jedem Falle durchzuführen und sie durch geeignete Maßnahmen von der Verwendung klopffreier Kraftstoffe unabhängig zu machen. Daher wurde auch in dieser Richtung eine Reihe von Versuchen unternommen, aus der einige Ergebnisse in diesem Zusammenhange nicht unbeachtet bleiben sollen.

Es wurde folgende Überlegung angestellt: Der innere thermische Wirkungsgrad η_{th} als wesentlicher Träger der Verdichtungsvorteile ist laut Gleichung (1) nicht vom Druck-Temperaturniveau des Arbeitsprozesses, sondern ausschließlich vom Verdichtungsgrad ε abhängig. Es müssen sich daher auch klopfschwache Kraftstoffe bei hoher Verdichtung mit gesteigertem Kraftstoffwirkungsgrad verwenden lassen, falls es durch geeignete Maßnahmen gelingt, trotz gesteigerter Verdichtung das Druck-Temperaturniveau der Verdichtung entsprechend niedrig zu halten. Hierzu wurden zwei bekannte Mittel näher geprüft:

a. Nachzundung

Die Klopfneigung eines Motors laßt sich unter sonst gleichbleibenden Verhaltnissen durch den Zündzeitpunkt beeinflussen, sie laßt sich durch Vorzündung vergroßern, durch Nachzündung verringern. Denn Verdichtungsenddruck und -temperatur steigen durch die zusatzliche Wärmewirkung um so mehr, je eher während des Verdichtungshubes mit der Zundung die Verbrennung der Ladung beginnt. Der Zundzeitpunkt kann nun aber nicht frei nach diesem Gesichtspunkt etwa beliebig spät gewahlt werden, sondern muß außerdem der motorischen Forderung günstigster Verbrennung, d. h größter Expansionsausnutzung, folgen.

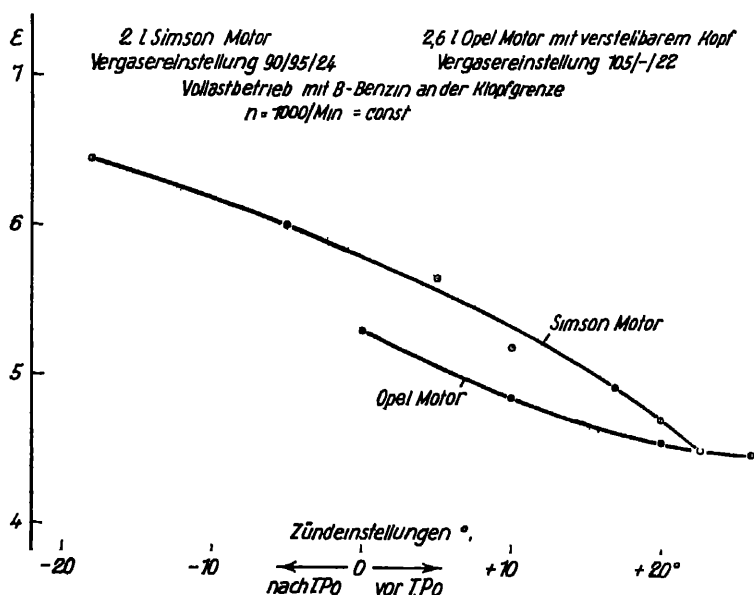



Abb. 22. Zundzeitpunkt fur die Klopfgrenze bei gleichem Kraftstoff und verschiedenen Verdichtungsgraden.

Abgesehen vom Leistungsabfall bringt bekanntlich zu starke Nachzündung Nachbrennen der Ladung, damit Ventilgefährdung und Motoruberhitzung. Es galt daher, das Verhältnis beider Wirkungen der Zündverstellung zueinander durch Versuche zu klaren. Sie wurden an einem 10/40-PS-Opel-Motor mit wahrend des Betriebes veranderlicher Verdichtung[1], sowie einem 8/40-PS-Simson-Supra-Motor mit stufenweise veranderlicher Verdichtung durchgefuhrt (Abb. 22) Beide Motoren wurden bei 1000 U/min. mit Vollgas mit klopfendem Benzin betrieben und ohne Änderung sonstiger Verhaltnisse die Verdichtung gesteigert, dabei die Zundung jeweils bis zur Klopfgrenze zurückgenommen Es zeigte sich, daß der Opel-Motor mit geringerer Zundverstellung auskam als

[1] „Zur Frage der Klopffestigkeit und der Klopfwerte von Kraftstoffen", Dr -Ing. Enoch, „Auto-Technik" 1928, Heft 1

der Simson-Motor. Im Durchschnitt wurden ca. 7 bis 15° Zündverstellung benötigt, um 0,5° Verdichtungssteigerung zu erzielen. Diese Verstellung ist schon zu groß, um namhafte Verdichtungssteigerungen auf diesem Wege zuzulassen. Nun tritt innerhalb des ganzen praktischen Drehzahl- und Belastungsbereiches eines Kraftwagenmotors nur für einzelne ganz bestimmte Betriebszustände, nämlich diejenigen max Füllung, beim Anfahren, Umschalten, Steigen usw., die einen verschwindenden Bruchteil der gesamten Betriebszeit ausmachen, die maximale Neigung des Motors zum Klopfen, auf. Es würde daher bei einem nur wenig über die Klopfgrenze hinaus verdichteten Motor genügen, die Zündverstellung nur zeitweise und kurz während der genannten Betriebsfälle anzuwenden. Der erfahrene Fahrer macht bereits, soweit ein Hand- oder Zündhebel vorhanden, von diesem Mittel bei Verwendung klopfschwacher Kraftstoffe häufigen Gebrauch. Bei verständiger Anwendung der Zündverstellung können daher kleine Verdichtungssteigerungen vorteilhaft vorgenommen werden. Sicherer als die Handverstellung arbeitet eine automatische Einrichtung, welche die Zündverstellung etwa in Abhängigkeit des Saugdruckes besorgt (Abb. 23)

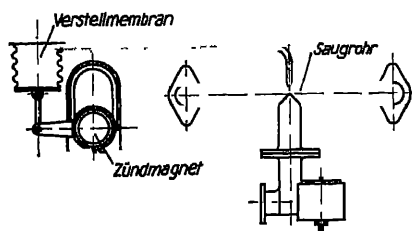



Abb. 23 Zündzeitpunktverstellung in Abhängigkeit der Ladungsdichte.

b Drosselung

Ein zweiter Weg, das Druck-Temperaturniveau der Verdichtung zu drücken, ist die Anwendung der Drosselung. Die Drosselung gestattet zwar, die durch Verdichtungssteigerung entstehenden Überdrücke und -temperaturen zu kompensieren, hat aber gleichzeitig die unangenehme Eigenschaft, Ladung und damit Leistungsausgabe zu verringern. Die Verdichtungssteigerung anderseits bringt erhöhte Leistung und geringeren Verbrauch. Die Wechselwirkungen dieser Faktoren wurden untersucht Die Versuche wurden wieder im Simson-Motor, außerdem in einem 60-PS-4-Zylinder-Lastwagenmotor der B.M.W.[2] bei 1000 bzw. 800 U/min. durchgeführt. Alle Betriebsbedingungen, auch der Betriebsstoff, wurden gleich gehalten, nur die Verdichtung gesteigert und die Klopfgrenze jeweils durch entsprechende Drosselung eingestellt. Die bei stets günstigster Vergaser- und Zündeinstellung erzielten Leistungs- und Verbrauchswerte (Abb. 24) führten zu folgendem Ergebnis:

Der leistungsvermindernde Einfluß der Drosselung überwiegt bei weitem den leistungssteigernden der Verdichtungssteigerung. Eine Ver-

[2] „Auto-Technik" 1928, Heft 1

dichtungssteigerung von 0,5 ergibt bereits bei beiden Motoren einen Leistungsabfall von etwa 13%. Aber auch keine Verbesserung, sondern sogar eine Verschlechterung des spezifischen Verbrauches ist zu erkennen. Die B.M.W.-Werte halten sich allerdings noch bis zu etwa 6facher Verdichtung auf annahernd gleicher Hohe.

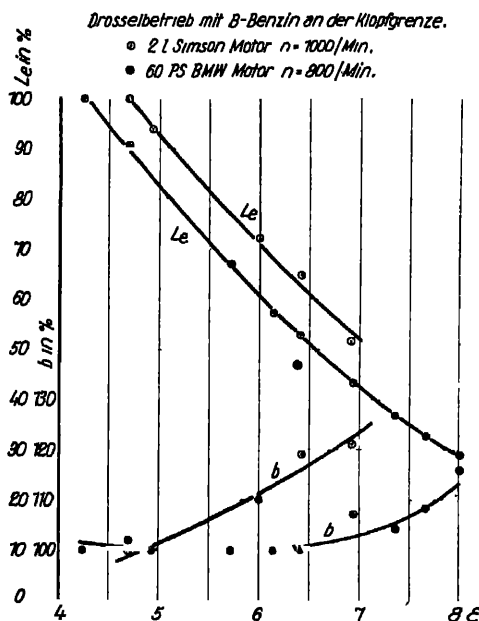



Abb. 24 Auswirkungen der Drosselung bis zur Klopfgrenze bei gleichem Kraftstoff und verschiedenen Verdichtungsgraden.

Soweit diese kurzen Versuche zu allgemeinen Schlüssen berechtigen, führt auch die Drosselmethode nicht zum gewünschten Ziele, da gerade dort, wo Leistung am meisten gebraucht wird, spürbare Leistungsverluste auftreten. Anderseits können bei geschickter Anwendung der Zundverstellung kleine Vorteile erzielt werden.

5. Zusammenfassung

Der Umfang des vorliegenden Versuchsmaterials berechtigt dazu, einige verallgemeinernde Schlußbetrachtungen anzustellen:

Die Verdichtungssteigerung erweist sich als wesentliches Mittel, die Wärmewirtschaft des heutigen Automobilmotors betrachtlich zu verbessern. Die Frage des Konstrukteurs nach der Lage des Verdichtungsoptimums, welches er unter Anwendung aller konstruktiven Mittel und völlig klopffester Kraftstoffe erreichen kann, wird durch die Versuche nicht beantwortet. Sie geben aber einen Anhaltspunkt

Der B.M.W.-Motor zeigt bei über 11facher Verdichtung noch derart starken Anstieg des Kraftstoffwirkungsgrades, daß auch die bei ent-

sprechender Triebwerkverstarkung zu erwartende Mehrreibung diesen Anstieg nicht ausgleichen wird. Das Verdichtungsoptimum für Neukonstruktionen wird daher wohl erst bei recht hohen Verdichtungsgraden zu suchen sein.

Wohl aber wird die Frage der Verdichtungsmöglichkeiten vorhandener Motoren weitgehend durch die Versuche beantwortet. Die Warmebeanspruchungen bieten keine Schwierigkeiten. Die mechanischen Beanspruchungsmöglichkeiten werden durch die eingehenden Beobachtungen im Dauerbetrieb geklart: Nach den vorliegenden Erfahrungen können selbst normale Lastwagenmotoren bis zu 7- und 8facher Verdichtung gebracht werden, ohne Schadigungen oder Mehrverschleiß befürchten zu müssen. Werden die Klopffestigkeitsverhaltnisse des Kraftstoffmarktes mit in die Überlegung einbezogen, so gehen die Verdichtungsmöglichkeiten unvermischten Benzols weit über dieses mechanisch ratsame Verdichtungsmaß von 7 bis 8:1 hinaus, wahrend die Klopffestigkeit der handelsublichen Gemische und gedopten Benzine etwa bei 5,5- bis 6,5facher Verdichtung liegt. Bis zu dieser Hohe kann der Konstrukteur mit großer Sicherheit ohne irgendwelchen konstruktiven Neuaufwand die Verdichtung steigern und die Fabriken machen von dieser Moglichkeit, z. B. durch die Lieferung von Hochverdichtungskopfen, wie früher schon ausgefuhrt, auch praktischen Gebrauch. Es fragt sich, ob sich bei vorhandenen Motoren unter diesen Verhaltnissen Verdichtungssteigerungen verlohnen. Diese Frage ist im allgemeinen zu bejahen. Ältere Motorentypen sind überwiegend auf Benzinverdichtung eingestellt. Aber auch die heutige Statistik zeigt noch fur Personenwagen (5,2:1 als Benzingrenze angenommen) in Amerika 70%, in Deutschland 50%, fur Lastwagen (bei 4,8:1 als Grenze) in Deutschland 20% aller Motorentypen mit reiner Benzinverdichtung ausgerüstet. Eine praktische Versuchsreihe des B.V. vom Vorjahre, bei der samtliche Fahrzeuge einiger mit verschiedensten Typen alterer und neuerer Bauart versehenen Fahrbetriebe auf ihre Klopffestigkeitsansprüche untersucht wurden, lieferte parallele Ergebnisse. Die Untersuchung erstreckte sich auf 45 Personenwagen — 36 verschiedener Typen — 27 Lastwagen — 20 verschiedener Typen — und zeigte laut nachfolgender Tabelle, daß 64% aller Personenwagen, 15% aller Lastwagen mit unvermischtem Benzin auskamen, während samtliche Personenwagen und 65% der Lastwagen mit handelsüblichen Gemischen klopffrei betrieben werden konnten.

Alle diese auf Benzinniveau eingestellten Motoren, d. h. die uberwiegende Mehrzahl aller Personenwagen und ein beträchtlicher Teil aller Lastwagen, ermöglichen bei der Umstellung auf Gemischbetrieb Steigerungen von 1 bis 1,5 Verdichtungsgraden, d. h. Leistungszuwachs und Verbrauchsminderung von 10 bis 20%. Sie ermoglichen ferner fur Benzolbetrieb Verdichtungssteigerungen von 1,5 bis 3°, d. h. eine Verbesserung der Kraftstoffausnutzung um 15 bis 25%. Hierbei sind Einzelfalle ausgenommen, bei denen sich vorwiegend im unteren Verdichtungsbereich bereits etwa 0,5° Verdichtungssteigerung in Leistungs- und Verbrauchsunterschieden von 10 bis 15% auswirkten. In den Mitteln zur Durchfuhrung an Neukonstruktionen ist der Konstrukteur unbeschrankt.

Als zweckmäßigste Maßnahme bei der Umstellung vorhandener Motoren bieten sich Kolbenüberhöhung, Abfräsen der Zylinderblöcke oder -köpfe sowie gelegentliche Verwendung von Spezialdichtungen.

0 % = Reinbenzin

Benzolgehalt des Gemisches in % =	0	0—10	10—20	20—30	30—40
Der mit obigem Gemisch klopffrei betriebsfähigen					
PKW. %	64	72	78	81	92
LKW. %	15	25	25	35	65

Benzolgehalt des Gemisches in % =	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	90—100
Der mit obigem Gemisch klopffrei betriebsfähigen						
PKW. %	100					
LKW. %	65	75	80	95	95	100

Diese Möglichkeiten gelten für eine gegebene Abhängigkeit der Klopfneigung vom Verdichtungsgrad der Motoren. Gelingt es, diese Klopfneigung nicht nur durch Verbesserung der Kraftstoffe, sondern auch durch motorische Mittel zu verringern, so kann das Verdichtungsniveau ganz allgemein für Benzin-, wie für Gemisch- und Benzolbetrieb heraufgesetzt werden. Als wenig aussichtsreich zeigen hier die Versuche den Weg des Drosselmotors, als Behelfsmittel die Zündmomentverstellung.

IV. Klopffestigkeitsprüfung der Kraftstoffe in der Praxis

Mit der zunehmenden Verwendung klopffester Kraftstoffe und der vollen Ausnutzung ihrer Klopffestigkeit durch entsprechend hohe Verdichtung machte sich für Kraftstoffhersteller und Kraftstoffverbraucher das Bedürfnis geltend, die Klopffestigkeit in gleicher Weise zu prüfen und im allgemeingültigen und zugänglichen Maßstab messen zu können, wie dies für andere wichtige motorische Kraftstoffeigenschaften, z. B. das Siedeverhalten und die Reinheit, seit langem geschieht. Die Frage einfacher, nicht nur für wissenschaftliche Forschungsstellen, sondern auch für Kraftstoffkäufer und -verkäufer in der Praxis brauchbarer Prüfungsmethoden ist daher zweckmäßig in den Kreis der vorliegenden Betrachtungen einzubeziehen.

1. Kritik der bestehenden Verfahren

Prüfverfahren für die Praxis müssen, zum Unterschied von rein wissenschaftlichen Versuchen, vornehmlich folgenden Bedingungen genügen:

a. einfache, betriebssichere, billige Konstruktion des Prüfgerätes;
b. einfache Handhabung,
c. Allgemeingültigkeit der erzielten Klopfwerte

Werden die verschiedenen bekannten Prüfverfahren unter diesem Gesichtspunkte untersucht, so ergeben sich folgende drei Hauptgruppen:

1. Verfahren, bei denen der Versuchskraftstoff durch Zusatz von Pro- oder Antiklopfmitteln auf die Klopfgrenze im Motor, dessen Betriebszustand unverändert bleibt, eingestellt wird. Als Maßstab für die Klopffestigkeit dient die Größe des Zusatzes. Dieser ist naturgemäß verschieden groß. Denn auch zwei Motoren genau gleicher Konstruktion und Verdichtung weisen niemals genau gleiche Klopfneigung auf, da die Betriebsverhältnisse stets etwas variieren, insbesondere wenn die Versuche an verschiedenen Orten durchgeführt werden. Die Klopfziffern dieses Verfahrens haben daher nur für den betreffenden Prüfmotor bei den betreffenden Betriebszustand Gültigkeit, können aber nicht als allgemeingültiges Maß bewertet werden.

2. Verfahren, bei denen der Kraftstoff unverändert bleibt, der Motor aber in seinem Betriebszustand auf die Klopfgrenze oder eine bestimmte Klopfstärke des Kraftstoffes eingestellt wird. Diese Einstellung kann durch alle Kompressionsdruck und -temperatur verändernden Mittel erfolgen. Als solche bieten sich an

a. Verstellung des Zündzeitpunktes,
b. Änderung der Drehzahl,
c. Änderung der Belastung (Drosselung),
d. Änderung des Verdichtungsgrades,
e. Änderung von Saugtemperatur und -druck,
f. Änderung des Gemischverhältnisses.

Als Maßstab der Klopffestigkeit wird die Größe der jeweiligen Variablen, also
zu a. der Zündzeitpunkt,
zu b. die Drehzahl,
zu c. Belastung oder Einstellung der Drosselklappe usw. gewertet.

Auch derartig gewonnene Klopfziffern haben nur für den Sonderfall des betreffenden Versuchsmotors Gültigkeit.

3. Verfahren, welche ohne Änderung des motorischen Betriebszustandes, wie des Versuchskraftstoffes, lediglich die Klopfstärke in einem hochverdichtenden mit jedem Versuchskraftstoff klopfenden Motor messen. Auch dieses Verfahren scheidet für den gedachten Zweck aus, da hier wieder die Klopfstärke von Motorkonstruktion und Betriebszustand abhängig ist.

4. Verfahren, bei denen der Versuchskraftstoff oder -motor auf die Klopfgrenze oder bestimmte Klopfstärke eingestellt, bei der aber als Maßstab der Klopffestigkeit ein zweiter Bezugskraftstoff gewählt wird, der durch Zusatz von Pro- oder Antiklopfmitteln auf die gleiche Klopffestigkeit gebracht wird, wie sie der Versuchskraftstoff aufweist.

Ricardo hat ein solches Verfahren bereits durch Bildung seiner Toluolwerte angewandt. Es muß von Motorkonstruktion und Betriebszustand unabhängig und daher geeignet sein, allgemeingültige Klopfziffern zu liefern, wenn zwei Kraftstoffe gleicher Klopffestigkeit, d. h. gleicher Widerstandskraft gegen Druck- und Temperaturbeanspruchungen, wie sie der Versuchskraftstoff und das dem Toluolwert entsprechende Benzin-Toluolgemisch darstellen, nicht nur im Versuchs-

motor, sondern auch in anderen Motoren diese gleiche Klopffestigkeit zeigen. Daß diese Bedingung zutrifft, wird spater an Hand des vorliegenden Versuchsmaterials erwiesen.

Ricardo stellt bei der Toluolwertbestimmung bekanntlich seinen Spezialmotor auf die jeweilige, der Klopfgrenze entsprechenden Verdichtung ein. Es lassen sich aber auch seine Toluolwerte mit Hilfe der ubrigen Verfahren 2a, b, c, e und f bestimmen. Auch Verfahren 3 scheint geeignet, denn es ermöglicht die Bestimmung von Toluolwerten dadurch, daß die Abstimmung des Bezugsgemisches nicht auf die Klopfgrenze, sondern die dem Versuchskraftstoffe entsprechende Klopfstärke erfolgt. Verfahren 1 hingegen laßt die Ermittelung von Toluolwerten nicht zu. In gleicher Weise lassen sich mit diesem Verfahren naturlich nicht nur Toluolwerte, sondern auch Benzolwerte, Ethylwerte usw. bilden, je nachdem als Bezugsgemisch nicht Benzin plus Toluol, sondern Benzin plus Benzol plus Ethyllösung usw. gewahlt wird.

2. Neue Versuchsergebnisse

Um die zu erwartende Allgemeingültigkeit der Klopfwerte nach diesem Verfahren praktisch zu prüfen, wurden vom B.V. Klopfversuche an drei verschiedenen Motoren nach 2d durchgefuhrt

1. am B.M.W.-Motor,
2. am Opel-Motor mit Verstellkopf,
3. am 2-l-Simson-Supra-Motor.

Die Verdichtung wurde am B.M.W.- und Simson-Supra-Motor in den Betriebspausen stufenweise durch Einschieben von Zwischenlagen zwischen Zylinderblock und Kurbelgehäuse, am Opel-Motor durch Verstellung von Gegenkolben wahrend des Betriebes verändert. Bei diesen Versuchen[3] wurden Benzolwerte — Mischungen von F-Benzin mit B.V.-Benzol, die der Klopffestigkeit des Versuchskraftstoffes entsprechen — von zwei Benzinsorten A und B sowie von Mischungen dieser Benzine mit B.V.-Benzol bestimmt. Hierbei wurde, um einfache Verhaltnisse zu schaffen und der Gepflogenheit in der Praxis zu entsprechen, von einer jeweiligen Vergasereinregulierung auf maximale Klopfneigung, wie bei manchen Forschungsstellen ublich, abgesehen und die Vergasereinstellung unverändert gelassen. Die Verdichtung wurde jeweilig auf die Klopfgrenze des betreffenden Kraftstoffes eingestellt. Die Klopfgrenze konnte in allen Fallen mit dem Gehor mit genugender Genauigkeit ermittelt werden. In der Darstellung der Abb. 25 bis 27 sind als Ordinaten die der Klopfgrenze entsprechenden Verdichtungsgrade, als Abszisse die jeweiligen Mischungen der Benzine A, B oder F mit B.V.-Benzol gewahlt. Die zur Abszisse 0 gehörige Ordinate zeigt infolgedessen Verdichtungsgrade an, die der Klopfgrenze der unvermischten Benzine A, B oder F entsprechen. Diese der Klopfgrenze entsprechenden Verdichtungsgrade sind in den drei verschiedenen Motoren infolgedessen, wie schon erortert, als allgemeingultiger Maßstab der Klopffestigkeit nicht brauchbar. Die aus der Klopfgrenzkurve von F-Benzin- und B.V.-Benzolmischungen

[3] „Auto-Technik" 1928, Heft 1.

60 PS BMW Motor 4/120/180.
Vergasereinstellung 100/115/22
Vollastbetrieb, n = 800/Min
Kurven nach Mischregel von Ricardo
für 1) 100 Vol.% A-Benzin gleich klopffest wie 59 Vol.% F-Benzin + 41 Vol % Benzol
2) 100 Vol % A Benzin gleich klopffest wie 78 Vol % B-Benzin + 22 Vol.% Benzol.
3) 100 Vol.% B-Benzin gleich klopffest wie 75,6 Vol % F-Benzin + 24,4 Vol % Benzol

ε
6,0
5,5
5,0
4,5
4,0
A B F

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Vol % Bo
100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 Vol % Bi

Abb 25. Klopfgrenze verschiedener Benzine und ihrer Mischungen mit B V.-Benzol im B M.W.-Motor.

Abb. 26. Klopfgrenze verschiedener Benzine und ihrer Mischungen mit B.V.-Benzol im Opel-Motor.

ermittelten Benzolwerte der Benzine A und B stimmen aber in allen drei Motoren, wie die Ergebnisse zeigen, mit praktisch hinreichender Genauigkeit überein, desgleichen die Benzolwerte beliebiger Mischungen von A- und B-Benzin mit B.V.-Benzol. Da es sich um drei Motoren recht verschiedener Konstruktion und Betriebsbedingungen handelt, kann diese Übereinstimmung keine zufällige sein, sondern muß als Bestätigung der vorerst aufgestellten Hypothese angesehen werden, daß zwei Kraftstoffmischungen, die sich in irgendeinem Motor als gleich klopffest erweisen, diese gleiche Klopffestigkeit auch in jedem anderen

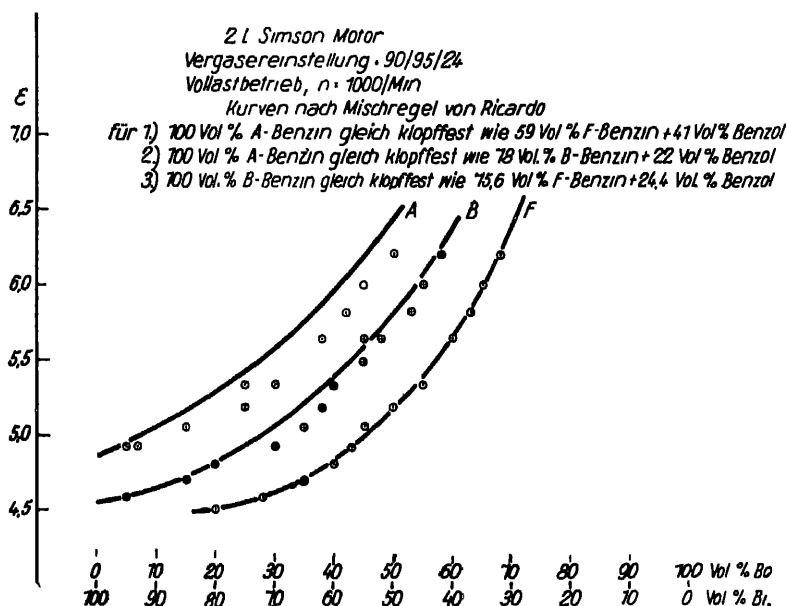



Abb. 27. Klopfgrenze verschiedener Benzine und ihrer Mischungen mit B V.-Benzol im Simson-Supra-Motor.

Motor beibehalten mussen. Diese Ergebnisse wurden neuerdings durch Versuche von *Barton*, *Sprake* und *Stansfield*[4] bestätigt.

Das im B.M.W.- und Simson-Supra-Motor angewandte Verfahren hat nun den großen Vorteil, in jedem anderen normalen Motor durchführbar zu sein und die Beschaffung teurer Spezialmotoren mit im Betrieb veranderlicher Verdichtung entbehrlich zu machen. Es bietet nur in der Durchfuhrung die kleine Schwierigkeit, daß sich infolge der nur stufenweisen und nur in Betriebspausen durchführbaren Veranderung der Verdichtung die genaue Klopfgrenze des Versuchskraftstoffes nur selten durch die Verdichtungseinstellung treffen laßt, obwohl sie bei einiger Übung des Prüfers stets sehr in der Nahe der vorgenommenen Einstellung liegen wird. Diese Schwierigkeit wird aber leicht dadurch be-

[4] Comparison of antiknock ratings in different laboratories SAE-Journal 1930, Nr 4.

hoben, daß die genaue Einstellung auf die Klopfgrenze bei einer in der Nähe liegenden Verdichtungsstufe durch geringe Zusätze von Pro- oder Antiklopfmitteln zum Versuchskraftstoff erfolgt. Werden nun z. B., wie dies aus der Darstellung ersichtlich ist, zwei bis drei Verdichtungseinstellungen oberhalb der Klopfgrenze vom Benzin A gewählt und jeweils das Benzin A durch Benzolzusatz genau auf die Klopfgrenze abgestimmt, so läßt sich leicht durch rechnerische oder graphische Interpolation der gesuchte Verdichtungsgrad für den Benzolzusatz 0, d. h. für das unvermischte Benzin A ermitteln

Eine noch weitere Vereinfachung scheint besonders das Verfahren zu 2c (Druck- und Temperaturänderung durch Änderung der Belastung) zu bieten. Einige kurze nach dieser Methode durchgeführte Versuche ergaben aber bisher weder genügende Übereinstimmung der drei verschiedenen Motoren untereinander noch eine Übereinstimmung mit den durch Veränderung der Verdichtung erzielten Klopfwerten.

Die Klopfwertbestimmung im B.M.W.- und Simson-Supra-Motor entspricht bereits durchaus den eingangs dieser Betrachtung aufgestellten Richtlinien. Ihrer allgemeinen Einführung in die Praxis scheinen demnach keine Hindernisse mehr im Wege zu stehen Es fehlt lediglich noch eine allgemeine, möglichst internationale Einigung über die Wahl der Bezugskraftstoffe.

8. Mischrechnung

Im Rahmen der Klopfwertbestimmung wird in der Praxis häufig an Verbraucher und Kraftstoffhersteller die Aufgabe gestellt, an Hand der Klopfneigung verschiedener Kraftstoffkomponenten die Klopffestigkeit einer aus bestimmtem Mischungsverhältnis beider resultierenden Mischung zu errechnen. Eine Handhabe bietet hier die *Ricardo*sche Mischregel. Für die meist in Frage kommenden Gemische zweier Kraftstoffe läßt sie sich in folgende bequeme und graphisch übersichtliche Fassung bringen (Abb. 28):

$$y = a + \frac{b - a}{100} \cdot x \tag{7}$$

a = Klopfwert der Komponente A,
b = Klopfwert der Komponente B,
x = Gehalt der Mischung an Komponente B in %,
y = Klopfwert der Mischung $(100 - x)$ % $A + x$% B.

Rechnet man nach dieser Mischungsregel die Benzolwerte der Benzine A und B mit verschiedenen Benzolzusätzen aus, so ergeben sich z. B. für den B.M.W.-Motor folgende Zahlen. Als Ausgangspunkt dienen:

100 A + 0 Bo.[5] % und 78 B + 22 Bo. % haben den Benzolwert *41*.

Werden jetzt z. B. je 25% Bo. zugesetzt, so ergibt die Mischungsrechnung:

80 A + 20 Bo. wie auch 62,4 B + 37,6 Bo haben Benzolwert *52,8*.

[5] Bo. = B V -Benzol

Werden 66,7 Vol.-% Benzol zugesetzt, so ergibt die Mischungsrechnung:

60 A + 40 Bo. wie auch 46,8 B + 53,2 Bo haben Benzolwert *64,6*.

So läßt sich für jedes A/Bo.-, sowie B/Bo.-Gemisch der Benzolwert errechnen[6]. Wird das Zeichen $\equiv$ als Symbol gleicher Klopffestigkeit eingeführt, so lassen sich die aus den Mischregeln errechneten Beziehungen auch in folgender Form aufstellen

$$100\,A + 0\,Bo. \equiv 78\,B + 22\,Bo. \equiv 59\,F + 41\,Bo. \quad (8)$$

daraus: $80\,A + 20\,Bo. \equiv 62{,}4\,B + 37{,}6\,Bo. \equiv 47{,}2\,F + 52{,}8\,Bo.$

oder: $60\,A + 40\,Bo. \equiv 46{,}8\,B + 53{,}2\,Bo. \equiv 35{,}4\,F + 64{,}6\,Bo.$ usw.

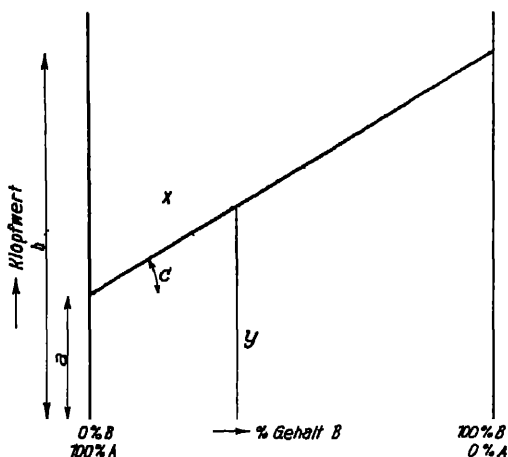



Abb. 28 Graphische Darstellung der Ricardoschen Mischregel.

Es ergibt sich als Sonderfall der Mischregel der Satz: „Gleich große Zusätze gleicher Kraftstoffe zu Kraftstoffen gleicher Klopffestigkeit ergeben wieder Kraftstoffe gleicher Klopffestigkeit". Da jedem Benzolwert im bestimmten Motor auch ein bestimmter Verdichtungsgrad zugeordnet ist, lassen sich obige Werte in das Koordinatensystem der Abb. 25 bis 27 eintragen. Der Benzolanteil bildet die Abszisse, der dem Benzolwert zugeordnete Verdichtungsgrad die Ordinate. Die so entstehenden theoretischen Kurven sind unter Zugrundelegung der Gleichung (8), die für alle drei Motoren gilt (Übereinstimmung der Klopfwerte) in den genannten Bildern eingetragen Es zeigt sich, daß sie — abgesehen von den A-Werten beim Simson-Supra-Motor — so dicht mit den tatsächlichen Versuchspunkten zusammenfallen, daß sie im Gegensatz zu anderweitigen, auch früheren Versuchen des B V.[7] eine empirische Bestätigung der *Ricardo*schen Mischregel für Gemische zweier Kraftstoffe bilden Die Abweichungen der A-Werte im Simson-Supra-Motor

[6] „Auto-Technik" 1928, Heft 1
[7] „Auto-Technik" 1928, Heft 1

sind noch nicht geklart, wahrscheinlich aber auf Hörfehler bei dieser mit starken Nebengerauschen behafteten Maschine zuruckzufuhren.

Unter Voraussetzung dieser praktischen Richtigkeit der Mischregel konnen nun wieder Gemische bestimmter Klopffestigkeit oder Klopfwerte schon auf Grund einzelner Versuchspunkte berechnet werden. Ihre Interpolation aus mehreren Versuchspunkten, wie vorher gezeigt, ist dann nicht mehr erforderlich Ist z. B. die Beziehung

$$80\ A + 20\ Bo. \equiv 62{,}4\ B + 37{,}6\ Bo. \equiv 47{,}2\ F + 52{,}8\ Bo.$$

versuchsmaßig gefunden, so laßt sich daraus z. B. das Klopffestigkeits-Äquivalent von A zu B wie folgt errechnen:

$$80\ A \equiv 62{,}4\ B + 37{,}6\ Bo. - 20\ Bo.$$
$$80\ A \equiv 62{,}4\ B + 17{,}6\ Bo.$$
$$100\ A \equiv 78{,}0\ B + 22{,}0\ Bo.$$

oder der Benzolwert von A:

$$80\ A \equiv 47{,}2\ F + 52{,}8\ Bo - 20\ Bo.$$
$$80\ A \equiv 47{,}2\ F + 32{,}8\ Bo.$$
$$100\ A \equiv 55{,}0\ F + 45{,}0\ Bo.$$

Benzolwert von A = 45

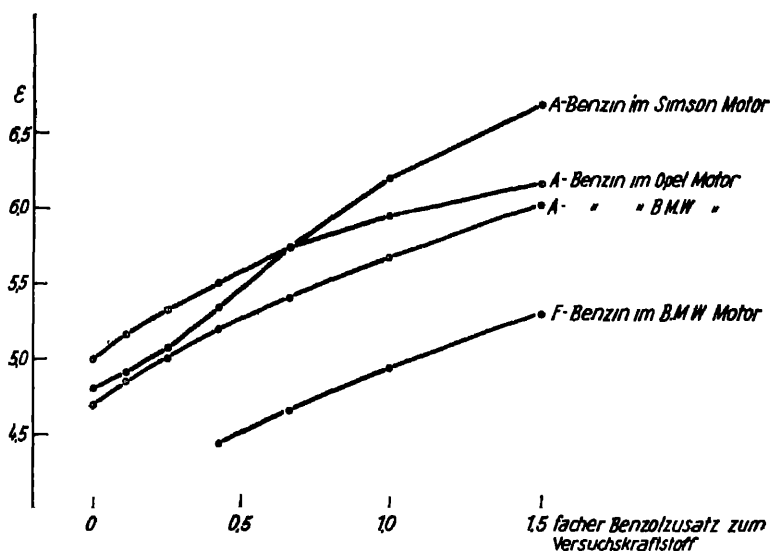



Abb 29 Klopfgrenze von Benzin-Benzol-Gemischen in Abhängigkeit vom absoluten Mischungsverhältnis.

Die in Abb. 25 bis 27 gewahlte Form des Klopfwertdiagrammes mit dem prozentualen Mischungsverhaltnis als Abszisse bietet, wie der praktische Gebrauch erwiesen hat, auch für Rechnungen vorgenannter Art gute Übersicht und bequeme Handhabe. Es ware noch bequemer, falls durch irgendwelche Maßnahmen die verhaltnismaßig stark gekrummten Klopfgrenzkurven gestreckt werden konnten. Als eine solche Maßnahme

ist die Wahl nicht des prozentualen, sondern des absoluten Mischungsverhaltnisses als Abszissenachse beliebt. Wenn auch nicht als Gerade, erscheinen die Kurven doch wesentlich gestreckter (Abb. 29), lassen aber Mischungsrechnungen in dieser einfachen Form nicht mehr zu.

Résumé

En se basant sur des données statistiques, on montre que la consommation des antidétonants dans les moteurs ne suit pas leur expansion sur le marché.

Le présent travail a pour but d'examiner, en se servant de nombreux résultats de recherches et d'expériences, du B. V., la question des augmentations du rapport de compression en général, de même que les possibilités actuelles d'améliorer l'utilisation de l'énergie, dans les moteurs. Des résultats favorables s'affirment dans l'augmentation des puissances, et dans la diminution des consommations, défavorables, dans l'augmentation des efforts du fonctionnement.

On donne une explication théorique des effets favorables ou défavorables. Dans les effets favorables, seule l'augmentation du rendement thermique peut être soumise au calcul, cependant que le calcul des efforts de régime n'est possible que dans le cas du cycle idéal où on suppose une combustion sans durée.

Au contraire, des résultats d'essais et d'expériences permettent d'adopter une compression optimum, bien supérieure au rapport de compression admis jusqu'à présent.

Les résultats d'expériences, desquels nous disposons ont été réunis par le B. V. tant en se servant de l'observation des moteurs qu'ils essaient ou qu'ils emploient pour leur usage particulier, que d'expériences faites en commun avec des fabriques de moteurs et avec leur clientèle. On examina à ce sujet la limitation de la compression au point d'auto-détonation de mélanges commerciaux d'essence-benzol, de mélanges d'alcool, ainsi que de benzol non mélangé.

Un tableau détaillé communique les résultats, et contient tous les chiffres intéressants. En outre on donne une série de courbes de rendement et de consommation, provenant des essais faits à la fabrique

Les chiffres donnés contiennent des conditions limites allant jusqu'à un rapport de compression de 11. Un examen plus approfondi montre que, dans le domaine des compressions moyennes, depuis les valeurs pour l'essence, jusqu'à celles pour les mélanges, c.-à-d si on augmente la pression, originalement de 4,7 à 5,3 jusque 5,5 à 6,5, on obtient des augmentations de puissance, et des diminutions de consommation de 10 à 20%. Même, dans un cas limite, où le rapport de compression a été porté de 4 à 11, il en est résulté une augmentation de puissance de 43% et une diminution de consommation de 34%. On constate que les améliorations effectives dans l'utilisation du carburant dépassent considérablement l'augmentation du rendement thermique.

Pour examiner les conditions dans lesquelles les services rendus varient, on a soumis l'exploitation de 45 camions et 40 voitures, de l'usage particulier du B. V. à un contrôle pendant des années, en y introduisant une augmentation du rapport de compression de 6 à 8, et on a déjà atteint des rendements kilométriques de 50000, et dans des cas particuliers, de plus de 100000. On n'a pas constaté de phénomènes anormaux d'usure, ni de sollicitation exagérée. On a fait la même constatation chez la clientèle Ce fait est dû à la faible caractéristique de combustion des antidétonants, qui ne donnent pas lieu à une surpression notable, pour des augmentations modérées du rapport de compression

En se basant sur ces expériences, on peut admettre, sans plus, des augmentations du rapport de compression de 5,5 à 6,5 comme limite d'auto-détonation pour les mélanges commerciaux, de 7 à 8 pour le benzol, dans les moteurs actuellement

employés. Pour des rapports de compression de 7 à 8, on n'atteint pas la limite de l'auto-allumage, mais bien la limite de sollicitation des moteurs actuellement en usage.

On explique les mesures à prendre pour changer les rapports de compression de moteurs actuellement en usage. On peut employer des intercalaires, des culasses à plus petite chambre de compression, et des procédés spéciaux de compression Dans la plupart des cas il sera aussi nécessaire de changer les bougies d'allumage, et le réglage La carburation doit être diminuée, suivant des valeurs données par l'expérience, ainsi que l'avance à l'allumage.

On communique aussi des essais qui ont été faits afin d'obtenir des augmentations des rapports de compression et leurs avantages, sans antidétonants, par des moyens mécaniques, en particulier variation de l'instant de l'allumage, et par étranglement. Mais on n'a obtenu que des résultats limités, par le premier moyen, et nuls, par le second

En relation avec le changement pratique du rapport de compression des moteurs par l'usage des antidétonants, on éprouve le besoin d'un procédé simple et peu coûteux pour la détermination des valeurs généralement admissibles de l'auto-allumage.

On examine les méthodes à ce point de vue, et on donne la description d'une méthode simple mise au point et employée par le B. V., et on prouve qu'elle satisfait aux exigences. Les chiffres donnés par les expériences ont prouvé l'exactitude de la règle de mélange de Ricardo, dont l'usage simplifie, comme on le montre, la détermination de la valeur d'auto-allumage.

Österreich

Kraftwagenmotor und Brennstoff und ihre Weiterentwicklung

Österreichisches Nationalkomitee

Dr.-Ing. A. A. Herzfeld

Die Entwicklung des Kraftfahrzeuges zum unentbehrlichen Verkehrsmittel war nur durch seine dauernde Verbesserung möglich, fordert aber selbst auch wieder weitere Fortschritte im Kraftwagenbau. Dieser richtet sich natürlich nach dem jeweiligen Stande der Technik, wird aber auch zum großen Teile von den Betriebsbedingungen, die nahezu in jedem Lande andere sind, beeinflußt. Zu diesen gehören die Straßenverhältnisse, Steigungen, Art des vorhandenen Brennstoffes, ökonomische Lastwagengröße, Preislage und nicht zum Schluß die Besteuerung. Daraus ergibt sich als Hauptforderung die Steigerung von Leistung und Wirkungsgrad

Da im nachstehenden nur Kraftwagen mit Vergasermotoren und deren Brennstoffe betrachtet werden sollen, kommt hierfür in erster Linie die Erhöhung von Verdichtung und Drehzahl in Betracht.

Die Steigerung der Verdichtung ergibt bei entsprechender Konstruktion eine Erhöhung des Wirkungsgrades, die wesentlich größer ist als die aus dem Kreisprozeß mit Hilfe der üblichen thermodynamischen Formeln errechnete. Diese Formeln erfassen ja bekannterweise folgende wesentlichen Umstände nicht:

1. Verminderung der verbrannten Gasrückstände im Zylinder, die die Ladung verdünnen.
2. Verkleinerung der Flammenwege infolge des kleineren Kompressionsraumes.
3. Von manchen Forschern wird die Ansicht vertreten, daß infolge des höheren Druckes und der höheren Temperatur die Reaktionsgeschwindigkeit größer ist [1, 2].

Diesen letzteren Umstand hält der Verfasser aber nicht für wesentlich, da z. B. bei einem 8-l-Lastwagenmotor bei Berücksichtigung der Gasrückstände und des Wärmeüberganges bei $\varepsilon = 4{,}1$ die Temperatur im (gleichen) Zündmoment etwa 450° abs., bei $\varepsilon = 5{,}5$ um 480° abs. ist, also ein viel zu kleiner Unterschied, um eine merkliche Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit hervorrufen zu können Bei Betrieb mit 80% Benzin und 20% Alkohol sinkt diese letztere Temperatur auf etwa 400° abs ab, wenn die Hälfte des Alkohols erst im Zylinder

verdampft; da in diesem Falle die Leistung nicht sinkt, ist ein weiterer Beweis fur die obige Ansicht erbracht. Tatsachlich ist ja auch die Frage der Beeinflußbarkeit der Reaktionsgeschwindigkeit durch Druck und Temperatur nicht eindeutig geklärt [3, 4, 5], während ihre Bedeutung fur die Verbrennungsgeschwindigkeit im Motor noch später erörtert wird. Immerhin ergibt sich zufolge der vorgenannten, durch den Kreisprozeß nicht erfaßbaren Umstände z. B. bei einem 8-l-Lastwagenmotor bei einer Verdichtungssteigerung von 1:4,5 auf 1:6,5 in der Praxis eine Erhohung des Wirkungsgrades von 21% gegenuber einer theoretisch errechneten von 7%.

In bezug auf die Steigerung der Drehzahl wird heute die noch vor wenigen Jahren vorherrschende Ansicht, der Schnellaufer sei wegen der kleineren Wärmeverluste an die Zylinderwande (denen großer Einfluß auf den Wirkungsgrad zugeschrieben wurde [6, 7, 8]) gunstiger, nicht mehr aufrechterhalten, nachdem zahlreiche Untersuchungen erwiesen haben, welch geringen Einfluß auf den Wirkungsgrad diese sog. Kuhlwasserverluste infolge ihrer geringen Große wahrend Verbrennung und Expansion haben [9, 10].

Hingegen laßt der Umstand, daß Schnellaufer keine relativ schlechteren Leistungen aufweisen als Langsamlaufer, einen wichtigen Schluß für den Verlauf der Verbrennung zu. Wurde die Geschwindigkeit der Verbrennung in erster Linie von der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit des Gemisches abhängen, so mußte sich unbedingt eine Benachteiligung des Schnellaufers ergeben. Der Verbrennungsvorgang wurde sich dann im Schnelläufer, verglichen mit der fur Verbrennung und Expansion zur Verfugung stehenden Zeit, relativ langsamer abspielen als im Langsamlaufer, d. h. Leistung und Wirkungsgrad wären bei hohen Drehzahlen schlechter. Trotzdem auch heute noch kein Indikatordiagramm Anspruch auf volle Genauigkeit erheben kann, zeigen doch die von *v. Juhász* [11] aufgenommenen Diagramme zwischen 1000 und 3000 U/min, daß die Verbrennung bei hoher Drehzahl bestimmt nicht merklich ungünstiger ist als bei geringeren Tourenzahlen Trägheitsfehler des Indikators mußten bei der hohen Drehzahl ebenfalls starker ins Gewicht fallen als bei geringer, im Diagramm also eher die Verbrennung bei hoher Tourenzahl benachteiligen als bei niedriger. Die Verbreitung der Verbrennung im Zylinder scheint daher in erster Linie einem mechanischen Vorgang zuzuschreiben zu sein, der von der Drehzahl, also der Kolbengeschwindigkeit, abhängt [12, 13, 14]. Es kann dies wohl nur die sich im Zylinder bei geschlossenen Ventilen entwickelnde Strömung mit der durch sie hervorgerufenen Turbulenz sein, deren Einfluß für die Geschwindigkeit der Verbrennung also maßgebend sein dürfte [10]

Wesentlich befordert wurde die Steigerung von Drehzahl und Verdichtung sicherlich durch die in vielen Landern übliche Besteuerung der Kraftwagen nach dem Hubvolumen. Wenn sie derart hoch ist, wie z. B. in Österreich, wird es unter Umstanden vorteilhaft sein, unter Verzicht auf großte Wirtschaftlichkeit hochste Leistung anzustreben. Dies und die daraus sich manchmal ergebende übertriebene, der tech-

nischen Entwicklung weit voreilende Überzuchtung der Motoren war auch die Ursache so mancher Rückschläge und Fehlkonstruktionen in dieser Hinsicht. Es hat sich eben auch hier wieder gezeigt, daß der technische Fortschritt durch keinerlei Verordnungen, insbesondere fiskalischer Natur, gehemmt oder in bestimmte Bahnen gelenkt werden soll, da diese meistens Anlaß zu einer ungesunden Entwicklung geben.

Von wesentlichem Einflusse auf diese Entwicklung waren auch die Rennen, die nach der Hubvolumenformel gefahren wurden. Der Konstrukteur wurde gezwungen, aus 2-l-, später $1^1/_2$-l-Maschinen enorme Leistungen herauszuquetschen, was zuerst nur durch Erhöhung der Verdichtung und maßlose Steigerung der Drehzahl möglich war. So wurden Drehzahlen von über 7000 U/min und damit Literleistungen von rd. 50 PS ohne Kompressor erzielt. Die harte Belastung anläßlich von Langrennen nötigte dazu, Mittel und Wege zu finden, um auch extreme Schnelläufer solchen Dauerbeanspruchungen gewachsen zu machen. Es sind daher heute Drehzahlen von 3000 bis 4000 U/min und daher Literleistungen von etwa 20 bis 22 PS bei dauerhaften Gebrauchswagen möglich, während dies noch vor wenigen Jahren nur bei Sportmaschinen, auf deren Lebensdauer ja kein besonderer Wert gelegt wird, erreichbar war.

Dabei ergibt sich noch der Vorteil, daß nicht nur der schnellaufende Motor ein bedeutend geringeres Gewicht hat als ein gleich starker Langsamläufer, sondern auch alle Teile der Kraftübertragung infolge der kleineren aufzunehmenden Drehmomente wesentlich leichter werden. So ergibt der Vergleich zweier 6-l-Personenwagen gleicher Marke, der eine als Langsamläufer im Jahre 1925, der andere als Schnelläufer 1929 gebaut, einen Leistungszuwachs von 35% bei gleichzeitiger Verminderung des Chassisgewichtes um 19% zugunsten des Schnelläufers. Dies äußert sich nicht nur in einem verringerten Preis, sondern auch in erhöhter Betriebsökonomie.

Die größere PS-Zahl/kg Wagengewicht bringt höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten mit sich. Das geringere Totgewicht vermindert den Brennstoffverbrauch, während der hochverdichtende Schnelläufer selbst schon weniger Kraftstoff verzehrt als der niedrig komprimierte Langsamläufer Dabei ist noch ein geringerer Anschaffungspreis zu amortisieren. Dies alles summiert, ergibt in der Praxis eine wesentliche Ersparnis an Zeit und Geld bei Verwendung hochverdichtender, schnelllaufender Motoren

Der Erhöhung der Drehzahl sind aber gewisse Grenzen gesetzt. Die wichtigste davon ist die vergrößerte Abnutzung, worunter auch die schneller eintretende Ermüdung des Materials verstanden sein soll Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt hier große Fortschritte. Während vor wenigen Jahren bei großen Motoren eine Drehzahl von etwa 2400 noch für eine exorbitante gehalten wurde, sehen wir heute 6-l-Motoren von 3000 Touren beinahe als Regel an und empfinden bei kleineren Maschinen auch 4000 Touren nicht als ungewöhnlich Hingegen zeigen bei den 6000 bis 7000 Touren der Rennmotoren häufig nach 10 bis 20 h rennmäßigen Betriebes die Ventilfedern bereits deutliche Ermüdungserscheinungen.

Ein wesentlicher Nachteil allzu hoher Drehzahl, der nicht so leicht zu überwinden ist, ist das geringere Anzugsvermögen der Schnelläufer. Begründet ist dies erstens im Verlaufe der Charakteristik; bei geringen Drehzahlen leistet der Schnellaufer verhältnismaßig wenig, da seine Ventileinstellung, sein Ansaugkanal usw. für große Füllung bei hohen Drehzahlen entworfen sein müssen und daher bei geringen Drehzahlen die Ventiloffnungszeiten (Nachsaugen, Vor-Ausströmen) nicht die günstigsten sind und unter Umstanden auch die Gemischverteilung leiden kann

Zweitens mussen die rotierenden und hin und her gehenden Massen des Triebwerkes viel mehr beschleunigt werden als beim Langsamlaufer. Wenn diese Massen beim Schnellaufer auch wesentlich kleiner sind, so steigt eben die notwendige Beschleunigung mit dem Quadrat der Drehzahl. Wir sehen daher auch, daß extreme Schnellaufer unterhalb bestimmter, ziemlich hoher Drehzahlen „kein Leben“ haben und „tot“ sind, wodurch bei ihnen häufiges Schalten notwendig ist, um den Motor nicht von seiner Tourenzahl kommen zu lassen.

Schließlich treten beim Schnellaufer noch weitere Schwierigkeiten auf, die die Drehzahl nach oben zu begrenzen oder ganz wesentliche Erfordernisse an Konstruktion und Erzeugung stellen. So wurde genaueste Auswuchtung der rotierenden Teile notig, auch ergab sich die Notwendigkeit, bei den meisten 6-Zylinder-Motoren Schwingungsdämpfer einzubauen, weil bei den hohen Drehzahlen meist mindestens eine kritische Tourenzahl in den Betriebsbereich fällt. Auch ist es sehr schwer, bei Schnellaufern dieselbe Geräuschlosigkeit zu erzielen wie bei Langsamläufern, und zwar sowohl was die Ventilsteuerung als auch den gesamten Gang des Motors, Getriebes und der Hinterachse betrifft. Dabei erfordern Schnelläufer Nockenformen, welche die Erzielung einer gerauschlosen Ventilbetätigung noch mehr erschweren.

Aber auch die Erhohung der Verdichtung findet ihre Beschrankung. Ganz abgesehen davon, daß sehr hohe Verdichtungen keine allzu großen Vorteile mehr mit sich bringen [15], zeigt sich bekannterweise schon bei viel niedrigeren Verdichtungsverhaltnissen eine Grenze infolge Auftretens der Detonation oder des „Klingelns“ (auch „Zundungsklopfen“). Die außerordentlich umfangreiche Literatur war aber bisher nicht imstande, eine vollkommen befriedigende Erklärung zu bieten.

Ein großer Teil all dieser Theorien und Untersuchungen ist allerdings auf der Annahme aufgebaut, daß die Verbrennung im Motor ähnlich wie in der Versuchsbombe durch Fortschreiten einer Flamme erfolgt, welche, wenn auch durch reflektierte Wellen oder sonstige Einflusse deformiert, doch eine zusammenhangende Front (flame front) bildet. Nun konnen Bombenversuche wohl nur mit großen Einschränkungen auf den Motor ubertragen werden Dabei zeigen die vorzuglichen Bilder von *O C. de C Ellis* [16], daß ein in der Bombe laufender kleiner Ventilator die genannte Flamme in lauter brennende Wirbel zerreißt. Es ist daher anzunehmen, daß infolge der Turbulenz im Motor die Flamme vollstandig in brennende Wirbelfaden zerrissen wird, die völlig regellos durcheinanderlaufen, bis das ganze Gemisch verbrannt

ist. Dabei dürfte, wie schon erwähnt, die Fortpflanzung der Verbrennung in erster Linie eine Funktion dieser Turbulenz sein [8, 14], welche sowohl von der Strömungsgeschwindigkeit des Gases im Zylinder, hervorgerufen durch die Kolbenbewegung, als auch von der Zylinderkopfform abhängt. Plötzliche Querschnittsveränderungen an solchen Stellen, an denen das Gas auf Grund der Kontinuitätsgleichung [8, 14] schon hohe Geschwindigkeiten hat, also Unstetigkeiten in der Strömung, tragen im besonders hohen Maße zur Vergrößerung der Turbulenz bei, wodurch die Verbrennung unzulässig beschleunigt wird. Dies tritt z. B. beim ursprünglichen Ricardokopf in besonderem Maße auf [4, 10], wobei das knappe Herangehen des Kolbens an einen großen ebenen Teil des Zylinderkopfes noch die Wirbelung verstärkt. Über diese Frage wird noch im nächsten Absatz, der die Folgen zu schneller Verbrennung behandelt, gesprochen werden.

Noch ein Umstand begrenzt die Höhe der Verdichtung, das ist der sog. „rauhe“ oder „harte Gang“. Diese technisch kaum meßbare und auch schwer definierbare, sondern fast nur gefühlsmäßig erfaßbare Erscheinung hat zwar meist eine andere später zu erörternde Ursache, kann jedoch auch durch zu hohe Verdichtung hervorgerufen werden. Mechanisch schwach gebaute Motoren können den Drucken bei hoher Verdichtung nicht gewachsen sein, wodurch Erschütterungen und Geräusche auftreten. Ebenso können die großen Drucke bei hoher Kompression das Auftreten bzw. Hörbarwerden von kritischen Drehzahlen hervorrufen, wofür als Beispiel ein bekannter 2,5-l-6-Zylinder dienen möge, der bei einer Verdichtung von ca. 1:5,8 vollkommen ruhig läuft, während bei einem Kompressionsverhältnis von 1:6,5 bei etwa 41 km/h eine kritische Drehzahl deutlich vernehmbar wird.

Meist entsteht aber der rauhe Gang durch zu kräftige Wirbelung [10, 17] oder ungünstige Lage der Kerze [12, 18] oder zu hohe unstete Strömungsgeschwindigkeiten [10, 12, 13] im Zylinderkopf, wodurch die Verbrennung unzulässig beschleunigt wird, was besonders bei hohen Drehzahlen oft zu starken und geräuschvollen Erschütterungen führt. Es tritt dann, nämlich der Beginn des Druckanstieges (ähnlich wie bei einer schlechten Ventilnockenform) zu unvermittelt auf [19], und das ist die häufigste Ursache des rauhen Ganges.

Dies ist der Grund zu einer deutlichen Abkehr von den Ansichten in den letzten Jahren, daß starke Durchwirbelung behufs Beschleunigung der Verbrennung günstig sei. In der letzten Zeit benutzte *Ricardo* [17] die Geschwindigkeit des Druckanstieges, welche mittels Indikator gemessen und über dem Kurbelwinkel aufgetragen wird, als Maßstab für die Wirbelung

Die *Ricardo*sche Wirbelung ist aber eigentlich keine Wirbelung im Sinne der Turbulenz bei turbulenten Strömungen, sondern stellt selbst eine irreguläre, durch die Form des Zylinderkopfes willkürlich hervorgerufene Strömung dar[1].

Ricardo gab im allgemeinen als noch zulässigen Druckanstieg etwa 2,5 at/Grad Kurbelwinkel an Es ist aber zweifelhaft, ob diese Meß-

[1] In dieser Arbeit wird daher zur Vermeidung von Verwechslungen die Wirbelung in turbulenten Strömungen meist mit dem Ausdruck „Turbulenz“ bezeichnet

methode wirklich einwandfrei ist, weil Diagramme bei Schnelläufern auch heute noch keine vollkommen zuverlassigen Unterlagen geben. Es dürfte auch wohl nicht sehr zweckmaßig sein, als Maß für die Durchwirbelung eine Erscheinung, nämlich die Geschwindigkeit des Druckanstieges, zu wahlen, die auch wesentlich von anderen Umständen beeinflußt werden kann. So hat der Verfasser gefunden [10, 13], daß eine wesentliche Ursache des rauhen Ganges, also des zu schnellen Auftretens des Druckmaximums, Unstetigkeiten in der Strömungsgeschwindigkeit des Gases sind, wenn die Gasstromung betrachtet wird, die sich bei geschlossenen Ventilen infolge der Kolbenbewegung zwischen Kolben und Zylinderkopf ausbildet.

Der *L*-Zylinderkopf, den der Verfasser auf Grund dieser Erkenntnis entworfen hat, ist demnach folgendermaßen ausgebildet: Da unter Zugrundelegung der eben geschilderten Strömungsverhältnisse am Kolben die Gasströmung gleich der Kolbengeschwindigkeit, am Ende des Zylinderkopfes aber gleich Null ist und dazwischen bei gleichbleibendem Querschnitte der Kontinuitatsgleichung [8, 14] folgt, sind die Querschnitte des Zylinderkopfes unter Anpassung an die stromungstechnischen Forderungen (Stromlinien) so bemessen, daß sich die Gasgeschwindigkeit nur stetig andert, also keine Geschwindigkeitssprünge auftreten, die infolge der heftigen, durch sie hervorgerufenen Turbulenz die Verbrennung unzulässig beschleunigen konnten.

Bei einem 4-l-Motor kräftiger Bauart wurden mit einem derartigen Zylinderkopf gegenuber einem „Durchwirbelungskopf“ guter Konstruktion folgende Ergebnisse erzielt.

Die Verdichtung konnte von 1:4,8 auf 1:5,1 gesteigert, die Vorzundung um rd. 10° vergroßert werden, was einen Leistungszuwachs von ca. 10% ergab. Dabei lief die Maschine vollig klopffrei und es verschwanden alle Erschütterungen durch rauhen Gang vollkommen, wahrend sie bei dem „Durchwirbelungskopf“ recht heftig gewesen waren.

Daß also diese Kopfform nebenbei eine sehr gute Antiklopfwirkung hat und eine wesentliche Steigerung von Verdichtung und Vorzundung ermoglichte, ohne an Ruhe des Ganges einzubüßen, liegt zum Teil in der Natur der Sache.

Die konstruktiven Maßnahmen zur Vermeidung des Klopfens sind, wie bekannt, schon sehr weit entwickelt, so daß hier die Praxis Wege zur Abwehr eines Übels gefunden hat, das die Theorie noch nicht eindeutig erklären konnte. Dadurch bewegen sich allerdings diese Maßnahmen mitunter in verschiedenen Richtungen. Nachstehend seien einige Erfahrungen, Ansichten und Versuche kurz erwahnt

Die *Ricardo*sche Regel [9] „Zündkerze über die heißeste Stelle, also uber das Auspuffventil“ bringt in der Praxis haufige Zündkerzen- und Startschwierigkeiten mit sich. Die Lage der Zundkerze bedarf einer grundlichen Überlegung und Ermittlung. Der Verfasser hatte die besten Erfolge, wenn die Kerze unter Berücksichtigung der Räume, in denen Restgase verblieben, ungefähr in die Mitte des Verbrennungsraumes gelegt wird, wobei sie aber noch vom kuhlenden Saugstrom getroffen werden soll und bei Bestimmung der Mitte des Verbrennungsraumes

außer den genannten Restgasraumen sowohl die Stromungsverhaltnisse als auch die Gasmengen in Betracht gezogen wurden. In letzter Zeit tauchten eine Reihe der verschiedenartigsten Zylinderkopfformen auf, die klopfhindernd wirken sollen [17, 18], unter denen einige unbewußt zum Teil die hier vom Verfasser angefuhrten Grundsatze befolgen, deren nahere Besprechung aber den Rahmen dieser Zeilen uberschreiten. Von Interesse ist noch die Theorie von *Janeway* [20], zufolge der die Dicke der Gasschicht, die in der oberen Totlage zwischen Kolben und Zylinderkopf verbleibt, von wesentlichem Einfluß auf das Klopfen ist. Diese Ansicht ist sowohl theoretisch wie praktisch anfechtbar.

Verschiedentlich wurde versucht, das Klopfen durch starke Drosselung oder durch weites Zurückverlegen des Zündpunktes zu unterdrücken. Die erstere Methode ergibt aber, wenn die Drosselung wirklich wirksam sein soll, durch Füllungsverminderung eine großere Verschlechterung, als die dadurch moglich gewordene Verdichtungssteigerung einbringen kann [2], ferner versagt sie vollig bei niedrigen Drehzahlen, also wenn das Klopfen am leichtesten auftritt Das zweite Mittel, Nachzündung, ergibt zwar, mit Maß angewendet, eine Besserung der Verhältnisse, bei höheren Kompressionen wird aber die notige Nachzundung so groß, daß empfindliche Leistungsverluste auftreten. Auch erwarmt sich der Motor natürlich sehr stark.

Durch die bekannten konstruktiven Maßnahmen ist zwar eine wesentliche Steigerung der Verdichtung moglich, trotzdem hängt aber das Maß der zulassigen Verdichtung in erster Linie vom Brennstoff ab. Auch bei dem bestkonstruierten Zylinderkopf kann bei einem sehr klopffreudigen Brennstoff kein wünschenswert hohes Verdichtungsverhältnis erreicht werden Es ist somit nicht nur einwandfreier Entwurf zu fordern, sondern auch Verwendung von kompressionsfesten Brennstoffen, um ein Verdichtungsverhältnis von 1:6 bis 1:6,5 erreichen zu können.

Es ist daher nötig, kurz auch die zum Großteil bekannten wichtigen Eigenschaften der Kraftstoffe zu betrachten

Die wichtigsten dieser Eigenschaften, die Kompressionsfestigkeit, setzt sich aus einer ganzen Reihe physikalischer und chemischer Eigenschaften zusammen. Ringformige Kohlenwasserstoffe neigen weniger zum Zerfall als kettenformige, diese wieder, also die Paraffine, sind um so klopffester, je kürzer die Ketten, also je niedriger siedend sie sind [21].

Zwischen den großen Gruppen, Aromaten, Naphthenen, Olefinen und Paraffinen, durfte das Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhaltnis, also der relative Gehalt an Wasserstoff, fur die Kompressionsfestigkeit maßgebend sein, innerhalb der Gruppen, z. B bei den Naphthenen oder Aromaten (Toluol, Xylol, Benzol) aber nicht. Auch die Verdampfungswarme ist aus bekannten Gründen fur die Kompressionsfestigkeit mitbestimmend. Die Selbstzündungstemperaturen scheinen nach den erwahnten Theorien die Hauptrolle fur die Klopffestigkeit zu spielen [22], doch fällt hier merkwürdigerweise der Schwefelkohlenstoff heraus, der, trotz niedriger Selbstzundungstemperatur, in geringen Mengen dem Benzin beigemischt, eine gute Antiklopfwirkung ergibt. Aus den Bemerkungen über den geringen Wert von Bombenversuchen

fur die Verhaltnisse in der Maschine geht auch die bekannte Tatsache hervor, daß Zündpunktbestimmungen in Zündwertprufern keinen stichhaltigen Rückschluß auf die Klopffestigkeit eines Brennstoffes zulassen. Inwieweit die Verbrennungsgeschwindigkeit des Brennstoffes bei der Klopffestigkeit eine Rolle spielt, ist noch nicht geklart, da einerseits von manchen Forschern dieser grundlegende Bedeutung beigemessen wird, andererseits aber auch nachgewiesen wurde, daß die Hauptkomponente der Verbrennungsgeschwindigkeit im Zylinder die Stromungsgeschwindigkeit bzw. Turbulenz darstellt.

Fur einwandfreien Betrieb ist natürlich auch die Sauberkeit der Verbrennung maßgebend. Sehr kohlenstoffreiche Brennstoffe, die also starke Verrußung hervorrufen, ebenso Brennstoffzusatze, die Ablagerungen von schädlichen metallischen Verbindungen oder Salzen im Zylinder bilden, sind daher abzulehnen. Ebenso kann bei alkoholischen Brennstoffen mit hohem Wassergehalt unerwünschte Rostbildung auftreten.

Bei der ebenfalls unbedingt zu fordernden Reinheit der Brennstoffe soll hier natürlich nicht von vermeidbaren mechanischen Verunreinigungen gesprochen werden, sondern von jenen Bestandteilen, welche entweder durch die Erwarmung unter gleichzeitiger Einwirkung des Luftsauerstoffes im Saugrohre harzartige Bestandteile abscheiden oder zu Korrosionen Anlaß geben. Im ersten Falle handelt es sich sowohl um aufgeloste Harze, die sich im Ansaugkanal und insbesondere am Saugventil niederschlagen, wie auch um Polymerisationserscheinungen mancher Olefine mit konjugierten Doppelbindungen Die zu ihrer Feststellung verwendete Schwefelsaurereaktion ist zweifellos viel zu scharf, erfaßt also auch unschadliche Bestandteile, während sie vermutlich den einen oder anderen schadlichen Teil durchschlüpfen laßt, wahrend die Abdampfprobe derzeit auch noch nicht als vollwertig angesprochen werden kann, da sie die Verhältnisse in der Maschine nicht vollkommen berücksichtigt Infolge der Wichtigkeit dieser Fragen ware eine intensive Forschungsarbeit in dieser Hinsicht erwunscht. Korrodierende Brennstoffbestandteile, die wegen ihrer schädlichen Einflusse unbedingt zu entfernen sind, sind Säurerückstande und manche Schwefelverbindungen. Auch wasserhaltige alkoholische Brennstoffe verursachen Korrosionen, denen durch geringen Zusatz von benzoesaurem Natrium oder Kali [1] allerdings begegnet werden kann

Von grundlegender Bedeutung für einwandfreien Betrieb ist auch das Siedeverhalten. Zur Kennzeichnung des Siedeverhaltens wird in Deutschland allgemein die Kennziffer von *Wa. Ostwald* verwendet, wahrend in Österreich mindestens die Zugabe des Siedebeginns und des Siedeendes (95%) verlangt wird, da die Kennziffer uber magere Siedeschwanze sowie auch uber Sprunge in der Siedekurve keine Auskunft gibt. Das gleiche gilt vom amerikanischen „average boiling point".

Von einer gewissen Bedeutung ist auch der Luftbedarf des Brennstoffes zur Verbrenunng. Wenn ein Brennstoff, wie z. B. Alkohol, gebundenen Sauerstoff enthalt, so bedarf er naturlich entsprechend weniger Luft zur Verbrennung, d. h die Vergasereinstellung muß verandert werden Fur reine Kohlenwasserstoffe kann allgemein gesagt

werden, daß bei ca. 10 bis 15% Luftüberschuß höchster Wirkungsgrad, bei etwa 20% Luftmangel größte Leistung erzielt wird [9, 23]. Die vom Benzolverband in Bochum ermittelten Zahlen [21], die zum Teil im Widerspruch damit stehen, sind wegen der meist geringen Drehzahl oder Belastung nicht als Gegenbeweis zu werten [24].

Ferner hat das Mischungsverhältnis einen gewissen Einfluß auf das Klopfen, das chemisch richtige Verhältnis ermöglicht ein geringeres Kompressionsverhältnis als reiches oder armes Gemisch [9]. Bei leicht angereichertem Gemisch ist die Motortemperatur am geringsten, starke Anreicherung oder insbesondere Luftüberschuß erwärmen den Motor stark.

Wirtschaftlich ist natürlich der Preis des Brennstoffes von ausschlaggebender Bedeutung. Allerdings besagt der Preis der Kalorie nichts, denn da die verschiedenen Brennstoffe auch verschiedene Wirkungsgrade der Verbrennung zulassen (hauptsächlich infolge ihrer Kompressionsfestigkeit), so ergibt eine zugeführte Kalorie nicht immer die gleiche Leistung. Zum einwandfreien Vergleich von Brennstoffen muß also der Kaloriepreis durch den praktisch erreichbaren Wirkungsgrad dividiert werden, so daß nicht der Preis der zugeführten Kalorie, sondern der der Kalorie effektiver Leistung ins Kalkül gezogen wird.

Der weitverbreitetste, also wichtigste Brennstoff, der auch der einzige ist, der unvermischt verwendet werden kann, ist das Benzin. Seine Kompressionsfestigkeit hängt in erster Linie von seiner Zusammensetzung ab. Paraffine sind am klopffreudigsten, dann kommen die Olefine, Naphthene und Aromaten. Letztere sind aber in den meisten Benzinen nur durch Spuren vertreten, so daß meist der Gehalt an Paraffinen und Naphthenen für die Klopffestigkeit maßgebend ist, die daher in weiten Grenzen schwankt. Alle Benzine sind sehr wasserstoffreich und haben daher alle Nachteile und Vorteile, die damit verbunden sind, also Klopffreudigkeit, Neigung zu rauhem Gang, aber dafür auch saubere Verbrennung. Reinheit muß natürlich auch vom Benzin gefordert werden, um Verharzungen und Korrosionserscheinungen zu vermeiden. Das Siedeverhalten ist ein sehr verschiedenes, die Siedelinien liegen heute in vielen Ländern, im Gegensatze zu den Angaben *Whatmoughs* [25], wesentlich höher als noch vor wenigen Jahren, was natürlich Einfluß auf die Konstruktion ausgeübt hat. Der Luftbedarf ist hingegen bei allen Benzinen so ziemlich gleich. Der Kaloriepreis wird in einem späteren Absatz, und zwar für die österreichischen Verhältnisse gültig, behandelt werden. Wichtig ist, daß die im Handel übliche Wertung des Benzins nach dem spezifischen Gewicht chemisch und technisch so ziemlich gar nichts besagt und somit ziemlich wertlos ist [1, 9, 12].

Benzol weist als rein aromatischer Kohlenwasserstoff fast nur günstige Eigenschaften auf, und zwar hohe Kompressionsfestigkeit, guten Verbrennungscharakter und vorzügliches Siedeverhalten. Unvermischt kann es jedoch wegen seines Kohlenstoffreichtums, der zur Verrußung Anlaß gibt, nicht verwendet werden. Seine Homologen Xylol und Toluol weisen dieselben guten Eigenschaften auf, ihre Kompressions-

festigkeit ist noch größer als die des Benzols, auch sind sie wasserstoffreicher, die Verbrennung also rußfreier. Doch ist nicht völlig reines Xylol, ebenso wie die höheren Homologen, wegen der größeren Möglichkeit des Auftretens von Polymerisationserscheinungen gefährlich. Benzol, vermischt mit Toluol, ergibt einen ganz vorzüglichen Brennstoff von hohem Heizwert/l.

Ein Brennstoff, der nicht zu den reinen Kohlenwasserstoffen gehört, ist Äthylalkohol bzw. Spiritus, sowie Methylalkohol. Diese sind in unvermischtem Zustande als Brennstoff unbrauchbar, da ihre hohe Verdampfungswärme den Motor nicht anspringen läßt. Die Kompressionsfestigkeit des Alkohols oder Spiritus ist sehr hoch, zum Teil infolge der großen Verdampfungswärme, zum Teil auch durch die klopfhindernde OH-Gruppe [12]. Der Verbrennungscharakter ist sowohl in bezug auf Geschwindigkeit wie in bezug auf Sauberkeit vorzüglich, das Siedeverhalten (Siedepunkt) günstig. Wertvoll ist bei allen alkoholischen Brennstoffen die „Kompressorwirkung". Durch die hohe Verdampfungswärme des Alkohols wird die Ansaugluft derart abgekühlt, also dichter, daß das Füllungsgewicht wesentlich höher ist als bei allen anderen Brennstoffen. Die höheren Alkohole sind benzinähnlicher, kommen aber wegen ihres hohen Preises derzeit nicht in Frage.

Aus allem vorher Gesagten geht hervor, daß an einen guten Brennstoff derart viele, manchmal einander widersprechende Forderungen gestellt werden müssen, daß diese nur im Kompromißwege zu erfüllen sind. Es ist daher auch unmöglich, daß ein unvermischter Brennstoff diesen gerecht werden kann. Dies und auch volkswirtschaftliche Gründe haben die Mischbrennstoffe ins Leben gerufen

Der einfachste und gewiß vorzügliche ist die Mischung Benzin-Benzol in geeignetem Verhältnis, so daß guter Verbrennungscharakter, saubere Verbrennung, großer Wirkungsgrad infolge hoher Verdichtung (ermöglicht durch die Kompressionsfestigkeit des Benzols) und günstiger Siedeverlauf gewährleistet erscheinen. Wo entsprechendes Benzol zur Verfügung steht, erfüllt dieser Mischbrennstoff (in Österreich „Tegla" in Deutschland „Aral") alle Anforderungen.

Die außerordentlich günstigen Eigenschaften des Alkohols haben es mit sich gebracht, daß er trotz zahlreicher, erheblicher Schwierigkeiten heute zu den wichtigsten Bestandteilen von Mischbrennstoffen zählt. Die größte Erschwernis besteht darin, daß sich praktisch nur absoluter Alkohol mit Benzin in jedem Verhältnis mischt, während Spiritus-Benzin-Mischungen ohne teure Lösungsmittel zu hygroskopisch sind und zur Entmischung neigen, wohingegen Spiritus-Benzol-Benzin-Gemische zwar gut brauchbar sind, aber auch eine gewisse Entmischungsneigung und sonstige Schwierigkeiten aufweisen. Dazu kommt noch die schon erwähnte Neigung des Spiritus zur Korrosion, die durch Zusatz gewisser Chemikalien beseitigt werden muß. In der Praxis haben sich Gemische Benzin-absoluter Alkohol durchgesetzt (z B Monopolin in Deutschland, Latt-Benthyl in Schweden), ferner Benzin-Benzol-Alkohol-Gemische (z. B Dynalcol in der Tschechoslowakei), Methylalkohol-Aromaten-Gemisch mit Zusätzen (z B. Discol in England) usw

Alle alkoholischen Mischbrennstoffe, die fur Motoren mit gebrauchlichen, wenn auch hohen Verdichtungsgraden (aber nicht Rennmaschinen) bestimmt sind, konnen mit Rucksicht auf die hohe Verdampfungswärme des Alkohols nur bis zu etwa 20 bis 25% Alkohol enthalten, da sonst Schwierigkeiten auftreten. Mit Hilfe des Alkohols ist es moglich, Mischbrennstoffe mit beinahe idealen motorischen Eigenschaften herzustellen, doch ist ihre Zusammensetzung keine einfache Aufgabe, wenn bose Erfahrungen vermieden werden sollen. Brennstoffe fur Rennmaschinen mit ganz hohen Verdichtungen, also solche mit noch hoherem Alkoholgehalt unter Beimischung von „Zundmitteln" sollen hier ebenso wie die verschiedenen zuzusetzenden Chemikalien und wie solche Mischbrennstoffe, die wegen der Art ihrer Losungsmittel kaum allgemeine Verbreitung erwarten lassen, unberucksichtigt bleiben.

Ein weiterer Weg, dem Benzin als gebräuchlichsten Brennstoff seine schlechteste Eigenschaft, die Klopffreudigkeit, zu nehmen, sind klopfhindernde Zusatze. Es sei hier von manchen bedeutungslosen Beimischungen, wie Schwefelkohlenstoff, abgesehen. Die wichtigsten sind einerseits manche metallische Verbindungen (Eisenkarbonyl im Motalin der I. G., Bleitetraathyl im Ethyl-Gasolin in USA.) sowie die aromatischen Amine. Die genannten metallischen Verbindungen haben eine vorzügliche Antiklopfwirkung, aber auch schwerwiegende Nachteile. In 100 l Ethyl-Gasoline sind z. B. 74 bis 75 g Blei enthalten, was nicht nur wegen der Giftigkeit des entstehenden Bleioxyds, sondern auch wegen des auftretenden starken graubraunen Niederschlages im Zylinder betrachtlich nachteilig ist. Das Eisenkarbonyl hingegen überzieht das Zylinderinnere mit einem rostahnlichen Überzug. Dazu kommt noch, daß z. B. im Motalin durch Belichtung Eisennonakarbonyl entsteht [2], das, im Benzin unlöslich, Flocken bildet und keine klopfhindernde Wirkung mehr hat.

Die aromatischen Amine (Anilin usw.) haben betrachtliche Antiklopfwirkung (ca. die 8- bis 10fache des Benzols), doch bestehen derzeit bei ihrer Anwendung noch ganz betrachtliche Schwierigkeiten, deren Schilderung hier zu weit fuhren wurde.

Schließlich ist als Antiklopfmittel noch der Zusatz von Wasser ins Ansaugrohr zu erwahnen. In diesem Falle wirkt nicht nur die hohe Verdampfungswarme des Wassers, sondern vermutlich auch wieder, wie beim Alkohol, die OH-Gruppe.

Ganz abgesehen davon, daß gute Mischbrennstoffe jeglicher Zusammensetzung vorzügliche Brennstoffeigenschaften ergeben konnen, sind sie auch deshalb in allen nicht Benzin produzierenden Landern von Bedeutung, weil sie wenigstens zum Teil die Verwendung inlandischer Produkte gestatten. In Ländern mit großen Kokereien hat der Benzolverbrauch als Motorenbetriebstoff noch den wesentlichen Vorteil, einen fruher als Abfallprodukt betrachteten Stoff nutzbringend zur Hebung der Rentabilitat der Kokereien zu verwerten.

So z. B. hatte im Jahre 1928 in Deutschland die Benzolerzeugung einen Anteil von 9,4% des Gesamterloses der Kokereien [26].

Der Verbrauch des Alkohols als Bestandteil eines Motorenbetrieb-

stoffes hingegen wird in allen Agrarländern der Landwirtschaft und Viehzucht zum Vorteil gereichen und eine Förderung dieser so wichtigen Produktionszweige mit sich bringen.

Aber von der Förderung dieser Produktionszweige ganz abgesehen, bringt eben, wie oben erwähnt, die Verwendung selbst erzeugter Brennstoffbestandteile eine Herabminderung des Imports, also des Abflusses von Geld ins Ausland, mit sich, was wohl bei dem stets steigenden Brennstoffverbrauch nicht hoch genug veranschlagt werden kann.

In Österreich muß alles Benzin eingeführt werden, da heute kein Rohstoff mehr zur Verfügung steht. Im Jahre 1928 [27] wurden 87313100 kg Benzin im Werte von 24875000 S eingeführt, davon 84% aus Rumänien, ca. 8% aus Rußland und ca. 4% aus Polen, während sich der Rest auf indischen, persischen und amerikanischen Ursprung verteilt. Krack-Benzin wird in Österreich nahezu gar nicht verwendet. Die Benzolerzeugung in Österreich beschränkt sich auf die Gaswerkserzeugung und kann etwa schätzungsweise mit 3500000 bis 4000000 kg im Jahre angenommen werden. Die Erzeugung absoluten Alkohols erfolgt derzeit in Österreich in den notwendigen Mengen überhaupt nicht, während die Gesamterzeugung an Spiritus, gemessen in Litern reinen Alkohols, im Jahre 1928 26632700 l betrug, von denen 2078900 l [28] ausgeführt wurden, und zwar zu einem dem Weltmarktpreis angeglichenen, also stark gedrückten Preis.

Die Nachfrage nach klopffesten Brennstoffen hat in Österreich erst in letzter Zeit begonnen, nimmt jedoch stark zu, nicht zuletzt durch die dauernde Verringerung der Kompressionsfestigkeit der meisten eingeführten Benzinsorten, die so groß ist, daß z. B. Mitte 1929 zur Erzielung gleicher Klopffestigkeit wie im Jahre 1928 bei den meisten Benzinsorten 10 bis 12% Benzol zugesetzt werden mußte.

Es wird daher in letzter Zeit in Österreich eine Vertriebsorganisation für Benzin-Benzol-Gemisch ausgebaut, die möglicherweise Hand in Hand mit dem deutschen Benzol-Verband arbeiten, jedenfalls aber im großen und ganzen den gleichen wissenschaftlichen Grundsätzen folgen wird. Leider kann die zur Verfügung stehende geringe Benzolmenge in Österreich weder technisch noch wirtschaftlich eine einschneidende Änderung der Brennstoffversorgung bringen, da bei der üblichen Mischung 4 Teile Benzol zu 6 Teilen Benzin eben nur etwa 7% des im Jahre 1928 eingeführten Benzinquantums veredelt werden kann, wodurch dann ca. 11 bis 12% des gesamten Brennstoffverbrauches klopffest wäre. Die Einfuhr würde sich, auf das Jahr 1928 bezogen, um 4,5% im Werte von 1100000 S verringern.

Bezüglich der Brennstoff-Kalorie-Preise verhalten sich Benzin zu Benzol wie etwa 1:1,45, Benzin zu Benzol-Benzin-Gemisch wie 1:1,15. Das letztere Preisverhältnis entspricht etwa der mindestens zu erzielenden Brennstoffersparnis, so daß die Preise der „effektiven Kalorie" sich höchstens wie 1:1 stellen, in vielen Fällen sich aber Benzin zu Gemisch wie etwa 1:0,9 stellt.

Alkoholische Mischbrennstoffe wurden in Österreich schon mehrfach, aber aus den hier genannten Gründen ohne durchschlagenden Erfolg,

zu vertreiben versucht. Auch jetzt sind Bestrebungen im Zuge, die bei Beschaffung genügender Mengen absoluten Alkohols technisch wie volkswirtschaftlich Bedeutung erlangen können. Im Jahre 1928 waren in Deutschland [26] etwa 7% des gesamten Benzins in alkoholischen Mischbrennstoffen enthalten. Auf österreichische Verhältnisse, im Jahre 1928 bezogen, wären dies etwa 6000000 kg Hierfür waren 1500000 bis 2000000 kg absoluter Alkohol nötig, d. h einerseits würde sich die Benzineinfuhr um etwa 1750000 S erniedrigen, andererseits die gesamte zu ungünstigen Preisen ausgeführte Alkoholmenge im Inland verwerten lassen und noch weiterer Bedarf an Alkohol eintreten, der wieder eine Förderung der Landwirtschaft bedeutet. Da aber infolge der vorher geschilderten Verhältnisse nur ein alkoholischer Mischbrennstoff in Österreich als kompressionsfester Brennstoff in großem Maßstabe in Frage kommt, würde mit der Zeit ein weiterer außerordentlich großer Alkoholbedarf mit allen seinen günstigen Folgen eintreten.

Preislich steht in Österreich derzeit beim Alkohol sowohl die „Brennstoffkalorie" wie die „effektive Kalorie" sehr hoch, doch ist mit Bestimmtheit zu erwarten, daß die staatliche Spiritusstelle, der die gesamte Verwertung und Verteilung des Alkohols obliegt, in Anbetracht der hohen Bedeutung von wirklich brauchbaren alkoholischen Mischbrennstoffen weitgehende Preisbegünstigungen erteilen wird.

Die übrigen Antiklopfmittel haben sich bisher in Österreich noch nicht durchgesetzt und daher hier bis jetzt weder technisch noch volkswirtschaftlich eine größere Bedeutung erlangt.

Die Verschiedenartigkeit der diversen Brennstoffe führt natürlich zu allerlei großen Unzukömmlichkeiten, die insbesondere infolge der Freizügigkeit des Kraftfahrzeuges entstehen Hat doch heute ein Fahrer, insbesondere eines Wagens mit hoher Verdichtung, schon vielfach im eigenen Lande Schwierigkeiten, den passenden Brennstoff zu erhalten, welche Schwierigkeiten sich noch beim Übertritt ins Ausland ganz wesentlich steigern. Weder weiß er im allgemeinen, wie dort der Brennstoff mit den notwendigen Eigenschaften heißt und wo er erhältlich ist, noch, ob er einen solchen überhaupt bekommt.

Dies führt zwingend zur Bestrebung nach einer einheitlichen, internationalen Brennstoffnormung oder Kennzeichnung. Die wichtigste zu normende Eigenschaft ist natürlich der Klopfwert des Brennstoffes. Da es aber völlig ausgeschlossen erscheint und auch unnötig ist, für den ganzen, auf dem Weltmarkt befindlichen Brennstoff einen einheitlichen Klopfwert festzusetzen, so bleiben folgende zwei Wege offen: Der eine, einfachere, aber unvollkommenere besteht darin, den Klopfwert eines jeden Brennstoffes an der Verkaufsstelle ersichtlich zu machen, ohne daß Vorschriften bestehen, in welchen Größen er sich zu bewegen hat Der zweite Weg, der wohl der bessere wäre, bestünde darin, daß alle Brennstoffe in zu bestimmende Klopfwertklassen eingeteilt würden, die dann, mit gewissen festzusetzenden Toleranzen natürlich, auch unbedingt einzuhalten wären. Für die Bezeichnung des Klopfwertes käme prinzipiell wohl nur der *Ricardo*sche Toluolwert

in Frage, wenn das von *Ricardo* als unteren Bezugspunkt verwendete aliphatische Benzin tatsächlich den Nullpunkt der Skala abgeben würde. Die bei seiner Einteilung auftretenden Minusklopfwerte sind zwar bei Laboratoriumsversuchen bedeutungslos, müssen aber bei einer Normung oder Kennzeichnung unbedingt abgelehnt werden.

Eine Normung der Methode, nach der der Klopfwert, wie gesagt prinzipiell im Sinne des Toluolwertes von *Ricardo*, gemessen werden müßte, wäre außerordentlich wünschenswert, obwohl manche Versuche des Benzolverbandes in Bochum [29] zeigen, daß auch bei verschiedenen (einwandfreien) Methoden praktisch gleiche Werte erhalten werden, wenn als obere und untere Bezugsgrößen dieselben Brennstoffe gewählt und daher die Einflüsse der Versuchsmaschinen ausgeschaltet werden.

Für die Einteilung kämen etwa folgende Klassen in Frage:

A. Für sehr hochverdichtende oder sehr klopffreudige Motoren, *Ricardo*-Toluolwert etwa 60 bis 70.

Entspricht dem deutschen BV.-Motorenbenzol und dem österreichischen Tegla-Benzol.

B Für hochverdichtende oder klopffreudige Motoren, *Ricardo*-Toluolwert etwa 40 bis 50.

Entspricht dem deutschen Aral oder Monopolin und der österreichischen Tegla-Mischung sowie etwa dem deutschen Motalin.

C. Für normal verdichtende oder klopffeste Motoren, *Ricardo*-Toluolwert etwa 30 bis 35.

Entspricht einem guten, stark naphthen- oder aromatenhaltigen Benzin.

D. Für niedrig verdichtende Motoren, *Ricardo*-Toluolwert etwa 15.

Entspricht einem Benzin mit einem mittleren Gehalt an Naphthenen oder Aromaten.

E. Für sehr niedrig verdichtende Motoren, *Ricardo*-Toluolwert 0 bis 5

Entspricht einem Benzin hauptsächlich paraffinischen Charakters

Bei dem allgemeinen Streben nach Erhöhung der Verdichtung würden allerdings die letzten Brennstoffklassen dauernd an Absatz verlieren, so daß Benzin, das diesen Kategorien entspricht, wohl mit der Zeit in immer steigendem Maße mit jenen Antiklopfmitteln, welche in den betreffenden Ländern üblich oder erhältlich sind, veredelt und daher in klopffestere Klassen versetzt würde, gewiß nicht zum Nachteil der Technik und der Wissenschaft.

Die Normung müßte sich auch auf das Siedeverhalten erstrecken, und zwar wäre zu fordern: Entsprechender Siedebeginn, der durch eingehende Versuche festgelegt werden müßte, Siedeende (95%) wegen der Gefahr der Ölverdünnung unter 170° C, Kennziffer höchstens etwa 140 bis 145, stetiger Verlauf der Siedelinie.

Bezüglich der Reinheit muß vollkommene Freiheit von Bestandteilen gefordert werden, die harzartige Niederschläge im Ansaugrohr bzw. schädliche metallische Niederschläge im Verbrennungsraum oder Korrosionen an irgendwelchen Teilen (Brennstoffzufuhr mit Vergaser, Ansaugleitung, Verbrennungsraum, Auspuffleitung) hervorrufen können.

Die Methoden zu diesen Bestimmungen, über die, wie erwähnt, noch keine eindeutigen Erfahrungen vorliegen, mußten ebenfalls genormt werden (z. B. Schwefelsäurereaktion-Abdampfprobe).

Auch die Kennzeichnung des Luftbedarfes zur Verbrennung ist notwendig, um beim Wechsel des Brennstoffes, der besonders häufig beim Übertritt ins Ausland erfolgen muß, sofort Anhaltspunkte für etwa zu ändernde Düsen zu erhalten. Alkoholhaltige Brennstoffe erfordern die größten, aromatische Brennstoffe die kleinsten Düsen. Es müßte ein Bezugswert (etwa die Einstellung für das als Nullpunkt der Klopfwertskala zu bestimmende Benzin gleich 1) geschaffen und die nötige Veränderung der Düsen als Verhältniszahl angegeben werden.

Schließlich ist für den Betrieb noch die Verdampfungswärme des Brennstoffes von Bedeutung, da sie auf die Vorwärmung sowie auf die sog. „innere Kühlung“ von Einfluß ist. Die reinen Kohlenwasserstoff-Brennstoffe haben alle so ziemlich gleiche Verdampfungswärme, so daß nur Alkoholgehalt wesentliche Änderungen hervorrufen kann. Solche Brennstoffe haben aber auch hohe Kompressionsfestigkeit und fallen daher bei der Klopfwerteinteilung in die Klassen A und B. Da aber kaum in einem Motor, der z. B. Brennstoff der Klasse D oder E verträgt, mit den Brennstoffen der Klassen A oder B gefahren werden wird, so ist auch keine Gefahr störender Überkühlung gegeben, da ein Motor, der Brennstoff A oder B verlangt, die höhere Verdampfungswärme auch anstandslos verträgt. Nach Ansicht des Verfassers wäre daher Kennzeichnung oder Normung der Verdampfungswärme unnötig, was aber wohl erst durch Versuche erhärtet werden müßte.

Zur vollen und idealen Auswirkung der Brennstoffnormung kann es aber erst kommen, wenn auch eine Normung oder wenigstens Kennzeichnung der Motoren durchgeführt würde. Hierbei wäre die auf Grund des Klopfwertes wiederum die wichtigste, wie sie auch schon *Wa. Ostwald* [30, 31] vorgeschlagen hat.

Eine richtiggehende Normung und Einteilung im wahren Sinne des Wortes ist wohl kaum möglich. Es würde aber praktisch vollkommen genügen, wenn jede Fabrik für ihre Motoren den Mindestklopfwert des zu verwendenden Brennstoffes angeben würde. Es läge dann im eigenen Interesse der Erzeuger, sich mit den für ihre Motoren notwendigen Klopffestigkeitswerten den Brennstoffnormen möglichst anzupassen. Bei dieser Motorenkennzeichnung sind wieder zwei Wege offen. Entweder es bleibt der Fabrik überlassen, für welche Drehzahl und Belastung der Klopfwert angegeben wird, oder es müssen einheitliche Bezugsgrößen bestimmt werden. Im ersten Falle besteht die Gefahr, daß aus Konkurrenzgründen die Bezugsdrehzahl zu groß und die Belastung zu klein gewählt wird, was eine Reihe von Unzukömmlichkeiten mit sich brächte. Im zweiten Falle ist es schwierig, einen wirklich für alle Fälle halbwegs gültigen Bezugswert für die Drehzahl und Leistung zu finden. Der Verfasser hält aber doch diesen Weg für richtiger. Z. B. könnte als Klopfwert des Motors der Klopfwert des Brennstoffes angesehen werden, mit dem bei Vollast, ganzer (von Hand verstellbarer) Vorzündung, Betriebstemperatur (durch halbstündigen

Dauerlauf erreicht), 15° C Außenlufttemperatur und normalem Barometerdruck, von der doppelten Leerlaufdrehzahl angefangen bis zur Höchstdrehzahl, die Klopfgrenze nicht uberschritten wird; dieser Vorgang ware deshalb einzuhalten, weil bei manchen Motoren die automatische Zündverstellung bereits im unteren Drehzahlbereich den Zundmoment so stark vorverstellt, daß bei ganz niedriger Drehzahl die Klopfgrenze noch nicht überschritten wird, wohl aber bei etwas hoherer Drehzahl infolge zuviel Vorzündung. So wünschenswert die Schaffung eines Gerätes zur einwandfreien Bestimmung der Klopfgrenze ist, so ware sie hierbei aber nicht Bedingung, da ein qualitativ hochstehender Motor auch besser abgehorcht werden wird als ein minderer.

Durch diese Kennzeichnung waren dann wohl die heute bestehenden Schwierigkeiten der richtigen Brennstoffversorgung, insbesondere im Ausland, behoben.

Die Normung oder Kennzeichnung der Motoren auf Grund der zulassigen Verdampfungswarme des Brennstoffes konnte nach dem bei der Brennstoffnormung Gesagten wohl entfallen.

Ebenso verhält es sich mit der Bestimmung des zulässigen Siedeendpunktes zur Vermeidung der Ölverdünnung. Wohl ist dieser bei verschiedenen Maschinen auch verschieden, doch spielt hier der Betriebszustand des Motors und seine Betriebsart eine so große Rolle, daß eine derartige Normung eine nutzlose Komplikation darstellen würde.

In Österreich hat sich der Ausschuß fur flüssige Brennstoffe der Gesellschaft fur Warmewirtschaft (Hauptverband der Industrie Österreichs) eingehend mit der Kennzeichnung der Brennstoffe beschäftigt und auch Richtlinien hierfur aufgestellt. Leider befassen sich diese nicht mit dem wichtigsten Punkt, namlich dem Klopfwert, dafur aber mit dem ziemlich bedeutungslosen spezifischen Gewicht. Angabe der Siedelinie bei genauer Kennzeichnung wird gewünscht, die Forderungen betreffs Reinheit aber ebenfalls nicht genugend gewürdigt. In allerletzter Zeit wird in diesem Ausschuß ahnlich wie in Deutschland die Normung der Prufungsmethoden fur flüssige Brennstoffe beraten.

Versuche diese Themen betreffend, die fur die Forschung von Bedeutung sind, konnten in keinem umfangreichen Maß durchgefuhrt werden, doch ist beabsichtigt, in der Versuchsanstalt fur Kraftfahrzeuge in Wien unter Mithilfe der Industrie mit einer großeren Versuchsreihe zu beginnen. Auch sonstige Forschungsarbeiten waren mit Rucksicht auf die beschränkten zur Verfugung stehenden Mittel sparlich, wobei von den diversen kleinen Arbeiten des Verfassers, die sich hauptsachlich mit dem Warmeubergang, den Strömungsverhaltnissen im Zylinder und den daraus resultierenden gunstigsten Zylinderkopfformen sowie mit Verbrennungs- und Brennstofffragen befaßten und die hier bereits verschiedentlich zitiert wurden, abgesehen werden soll.

Wie aus allem bisher Gesagten hervorgeht, muß die Entwicklung des Fahrzeugmotors in der Steigerung von Drehzahl und Verdichtung bei Verwendung klopffester Brennstoffe liegen Doch wird sich diese Entwicklung nur dann gesund vollziehen, wenn keinerlei ubertriebene

fiskalische Maßnahmen ein Abirren von der technisch richtigen und schrittweise vorwärtsführenden Bahn verursachen. Übertriebene Drehzahlen sind ebenso ungünstig wie übertriebene Kompression. Wohl wird die für zulässig erachtete Drehzahl dauernd steigen, aber eben nur in dem Maße, als ihr die Entwicklung der Materialkunde (Abnützung) und Schwingungstechnik (Geräusch und Erschütterungen) standhalten kann. Die Steigerung der Verdichtung hingegen bedarf zuerst klopffester Brennstoffe und möglichster Kenntnis der Verbrennungsvorgänge, um dann bei einem Verdichtungsverhältnis haltzumachen, bei dessen Überschreitung wesentliche Vorteile nicht mehr erwartet werden können.

Anders bei einer Besteuerung des Hubvolumens: Je höher eine solche Besteuerung ist, um so mehr zwingt sie den Konstrukteur, möglichst viele PS aus einem Liter Zylinderinhalt herauszuquetschen. Die Folgen sind übergroße Drehzahl, sehr hohe Verdichtungen und Vernachlässigung der Wirtschaftlichkeit zugunsten der Leistung, da z. B. bei den in Wien geltenden Steuersätzen ein geringer Mehrverbrauch, der der Leistung zugute kommt, immer noch billiger ist als ein ökonomischer Motor gleicher Stärke, aber größeren Hubvolumens. Dies ergibt natürlich eine völlig ungesunde und unwirtschaftliche, verzerrte Entwicklung, von der vielleicht nur die Materialkunde infolge der erzwungenen übergroßen Drehzahl profitiert.

Gerade das gegenteilige Bild ergibt eine Brennstoffsteuer. Diese zwingt den Konstrukteur, in erster Linie auf größte Wirtschaftlichkeit, also geringsten Verbrauch bei möglichst hoher Leistung zu sehen. Dies verursacht eine im großen und ganzen gesunde Entwicklung, die Verdichtung wird gesteigert, bis die beste Kompromißlösung gefunden ist, da bei sehr großer Steigerung der Kompression der Wirkungsgrad nicht mehr in erwünschtem Maße zunimmt, andererseits aber sehr hohe Verdichtung auch robustere Bauart verlangt. Auch die Drehzahlerhöhung würde sich in den durch die Wirtschaftlichkeit gezogenen Grenzen halten. Allerdings züchtet eine Brennstoffsteuer nur im Verbrauche wirtschaftliche Maschinen, während unter Umständen Konstruktionseigenarten, die zwar den Verbrauch erniedrigen, aber den Betrieb als solchen ohne Steuer verteuern würden, durch sie entstehen können.

Eine Besteuerung des Wagengewichtes allein gibt dem Konstrukteur für den Motor zwar freie Hand in der richtigen Weiterentwicklung bezüglich Leistung und Wirkungsgrad, zwingt ihn aber natürlich, an Gewicht zu sparen. So günstig dies ist, wenn es im Rahmen des technischen Fortschrittes erfolgt, so gefährlich wird eine überhastete Entwicklung in dieser Hinsicht. Da die Steigerung der Drehzahl und Verdichtung auf keinen Fall zu umgehen ist, und schon gar nicht bei zwangsweise kleinem Gewicht, so liegt die Gefahr nahe, daß Motoren entstehen, welche infolge Materialersparnis den hohen Geschwindigkeiten und Drucken nicht gewachsen sind.

Die beste Art der Besteuerung ist stets eine kombinierte. Bei einer Brennstoff- und Hubvolumensteuer, wobei die erstere die Hauptlast zu tragen hätte, muß die Drehzahl erhöht werden, um möglichst hohe

Leistungen zu erzielen, ohne jedoch auf Kosten des Wirkungsgrades zu gehen, und die Verdichtung muß gesteigert werden, um möglichst geringen Verbrauch zu erzielen. Hieraus ergibt sich von selbst, daß auch das Wagengewicht gesenkt werden wird, soweit dies ohne Gefährdung der Lebensdauer des Fahrzeuges moglich ist

Wenn jedoch auch das Wagengewicht besteuert wird, so liegt stets die Moglichkeit einer unzulassigen Erleichterung vor, soweit es Personenwagen betrifft, weil bei diesen der Motor einen verhaltnismaßig großen Gewichtsanteil beansprucht und daher eine Entwicklung Platz greifen kann, die der natürlichen Steigerung von Drehzahl und Verdichtung direkt entgegenlauft.

Anders liegt es bei Lastwagen, bei denen der Motor nur einen verhaltnismaßig geringen Teil des Wagengewichtes ausmacht Der Konstrukteur wird daher trachten, in erster Linie das Gewicht des Fahrgestelles (ohne Motor) zu verringern, so daß beim Motor selbst ohne Bedenken eine robuste, hohen Drücken und Geschwindigkeiten gewachsene Bauart beibehalten werden kann.

Man kann daher mit Recht als gunstigste Besteuerungsart, vom technisch-wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet, für Personenwagen eine kombinierte Brennstoff-Hubvolumensteuer, für Lastwagen (Nutzfahrzeuge) eine Brennstoff-Wagengewichts-Besteuerung ansprechen.

Die vorliegenden Ausführungen bezuglich der Einwirkung der Besteuerung haben allerdings nur dann volle Berechtigung, wenn die Steuern so hoch sind, daß sie gegenuber den Betriebskosten, sei es Verbrauch, sei es Erhaltung, fuhlbar ins Gewicht fallen, wie es eigentlich nur in einigen europaischen Staaten, besonders aber in Österreich, der Fall ist

Derartige ortliche Erscheinungen können aber wohl die gesunde Entwicklung des Kraftfahrzeugbaues in seiner Gesamtheit kaum beruhren und werden auch nicht die Ursache sein, daß sich die Erhohung von Drehzahl und Verdichtung, von den genannten Ausnahmen abgesehen, anders vollziehen wird, als es dem jeweiligen Stande der Technik entspricht.

Summary

If progress is to be realised, automobile engines must have higher output and greater efficiency. To achieve this purpose, we must increase the speed and the compression ratio of the engine. Development along these lines has been assisted by the method employed in certain countries of taxing the automobile according to the cylinder displacement capacity

Important races run in accordance with this formula have given very valuable data in this connection.

Increasing the speed and the compression ratio tends to reduce appreciably the manufacturing and running costs, though this increase in question must not be exaggerated until our theoretical and practical knowledge is more complete. Detonation sets a limit to increasing the compression ratio, while smooth running (i e absence of vibration) is also of importance. These two items call for careful engine design, particularly with regard to the combustion chamber Smooth running may be obtained by streamlining the cylinder head in accordance with the velocity of gas flow.

Anti-knock fuels must be used if the desired high compression ratios are to be obtained without detonation. The value of a fuel in this repect depends on several factors such as the H/C ratio, the ignition temperature, molecular size, the heat of vaporisation, etc. It is important that the fuel be pure, of high volatility and cheap

The price should not be compared per thermal unit but per thermal unit divided by the efficiency attainable. Petrol possesses a higher anti-detonating value the more naphthenes or aromatics it contains, while the aromatics of high "anti-knock" value must be blended with other fuels. They are particularly suitable in this connection not only from the technical but also from the economic point of view, the latter being a particularly urgent consideration in countries not producing petrol Chemical, particularly the organo-metallic "anti-knocks" possess in every case certain disadvantages which render them inferior to fuels blended with aromatics or alcohol. The production of blended motor fuels would be a distinct advantage in such countries as Austria, for instance, that do not possess supplies of oil. Benzole would not, however, improve matters particularly, owing to the relatively small quantities produced (solely by town gas works), while the use of alcohol is not yet possible for economic reasons.

The increase in compression ratio and the very different "anti-knock" values of the various fuels call for international standardisation or international classification of the fuels according to their "anti-knock value", especially in view of the universal use of motor cars The other important qualities of a fuel, such as volatility, pureness, amount of air necessary for combustion, would also have to be included in this standardisation or classification.

It would be desirable also, to specify engines according to their liability to knock. The "knock value" of an engine should be the toluene value of the fuel with which this engine will run without knocking under the following conditions. The test should be carried out at all engine speeds between double the idle run speed and maximum speed with the ignition fully advanced under full load at normal barometric pressure, normal air temperature and service temperature of the engine

The only publications on these subjects in Austria are the "Richtlinien zur Kennzeichnung von Brennstoffen", which have been brought out by the Sub-committee for Liquid Fuels of the "Gesellschaft fur Wärmewirtschaft", Vienna, but this work deals almost exclusively with the specific gravity of the fuels and is therefore not very useful The present author also discusses questions relative to heat transference, combustion, fuels and especially streamlined cylinder heads.

The development of the automobile will undoubtedly depend on the method of taxation. The best basis would be a combined fuel-cylinder displacement tax for private cars and a tax on fuel and weight of the car for lorries, trucks and busses.

Literatur

[1] *Wa Ostwald,* Kraftstoffe und Schmierstoffe. M Krayn, Berlin 1928.

[2] Brennstofftagung des Benzolverbandes, Bochum, Juni 1929.

[3] *R. W. Fenning,* Air-Hydrogen Explosions in Closed Vessels. Aeronautical Research Committee, Rep and Mem. No. 902, April 1924, London.

[4] *W. A. Whatmough,* Detonation. The Automobile Engineer, Februar bis Dezember 1927, London.

[5] *Crewe* and *Newey,* Phil Mag, Juni 1925, p 1112.

[6] *Gabriel Becker,* Vervollkommnung der Kraftfahrzeugmotoren durch Leichtmetallkolben. R. Oldenbourg, München-Berlin 1922

[7] *Hugo Guldner,* Das Entwerfen und Berechnen der Verbrennungskraftmaschinen Julius Springer, Berlin 1921

[8] *A. Herzfeld*, Der Wärmeübergang und die thermodynamische Berechnung der Leistung bei Verpuffungsmaschinen, insbesondere Kraftfahrzeugmotoren. Julius Springer, Berlin 1926.
[9] *H. R. Ricardo*, High speed engines.
[10] *A. Herzfeld*, Die Wärmeverluste durch das Kühlwasser und der Wirkungsgrad schnellaufender Motoren Sparwirtschaft Hefte 3, 4, 5. Wien 1928.
[11] *K. J. v Juhász*, The de Juhász Indikator The Automobile Engineer, Vol XV, No. 206, London, September 1925.
[12] *A. Herzfeld*, Brennstoff und Motor. Sparwirtschaft Hefte 2, 3, Wien 1929, und Maschinenkonstrukteur No. 16, 17, Leipzig 1929.
[13] *A Herzfeld*, Aktuelle Brennstoffragen Petroleum Bd XXV, No. 30, Wien-Berlin 1929
[14] *A. Herzfeld*, The Thermodynamics of Heat Transference. The Automobile Engineer, London, October, November 1929.
[15] *H R. Ricardo*, Engines of high output.
[16] *W. A. Whatmough*, Detonation. The Automobile Engineer, London, Juni 1927, Fig. 16.
[17] *R H. Ricardo*, Cylinder head design The Automobile Engineer, London, August 1929 und
H. R. Ricardo, Some notes on petrol-engine development The Institution of Automobile Engineers The Automobile Engineer, London, April 1927.
[18] *W A Whatmough*, Combustion chamber design in theory and practice The Automobile Engineer, London, September 1929
[19] *H S Glyde*, Combustion Chamber Research, The Automobile Engineer, Vol. XX., London, February 1930.
[20] *R. N Janeway*, Engine detonation attributed to high temperature attained by residual unburnt gas. Automotive Industries, 10. November 1928, Philadelphia.
[21] *Otto Enoch* und *Dr. Weller*, Aktuelle Brennstoffragen Petroleum, Wien-Berlin, 23. Oktober 1929, S 1444 u. f.
[22] *W A. Bone*, *G J. Finch* and *T. A. Townend*, The fundamental aspects of combustion World Power Conference, Fuel Conference, 1928.
[23] *D. Finlagson*, Carburation. The Institution of Automobile Engineers. The Automobile Engineer Vol XV, No 201, London 1925
[24] *A. Herzfeld*, Aktuelle Brennstoffragen Petroleum Jg. XXVI, Wien-Berlin 1930.
[25] *W. A Whatmough*, Modern motor fuels The Automobile Engineer, London, Januar 1927.
[26] *Herbert Luthgen*, Der Benzol-Verband. Wilhelm Knapp, Halle a. S. 1929.
[27] *Robert Schwarz*, Petroleum Vademecum. Verlag fur Fachliteratur, Wien-Berlin 1929.
[28] *Emil Goldschmidt* und *Emil Staudt*, Die staatliche Spirituswirtschaft in Österreich. Manz, Wien 1929.
[29] *Otto Enoch*, Zur Frage der Klopffestigkeit und des Klopfwertes von Kraftstoffen. Auto-Technik Jg. XVII, No. 1, 2. Berlin 1928.
[30] *Wa Ostwald*, Die Kompressionsfestigkeit der Motoren Auto-Technik No 8, Berlin 1927.
[31] *Wa Ostwald*, Die Kompressionsfestigkeit im praktischen Kraftfahrbetrieb. Allgemeine Automobilzeitung 1927, No. 34.

Great Britain

The Position of Research on the Light Petröl Engine

Notes on the Position of Research in Great Britain

British National Committee

H. S. Rowell and C. G. Williams

This Report has been prepared for the British National Committee It is not to be regarded as constituting a paper, but provides information collected for the purpose of including a complete international survey of the subject in the Transactions of the Second Plenary World Power Conference

In the following papers a picture of the present position is constructed by means of a bibliographical summary of the more important papers contributed during the last five years. In the space available it was impossible to do full justice to all or any of the papers, and it should be understood that the very short summary given under each title is intended solely to indicate the relation of the papers to the subject as a whole.

As regards arrangement, it was thought best to group the papers under a subject classification based on the order of engine processes, e. g., fuels, ignition, combustion, lubrication etc. But so many papers deal with more than one of these branches that the classification must not be regarded as a precise or definite set of divisions.

No attempt has been made to deal with unpublished work or tendencies The various races and record breaking attempts of the past three years are well known even to the general public and the methods by which the achievements have been attained will no doubt be published in due course.

Nor is it possible to indicate any one specific direction in which advances are being attempted. As a general impression, petrol engine development seems to depend on allround and manysided refinement. Perfection of fuels and of their combustion, improvement of lubricants and of lubrication, reduction of weights in moving parts and concomitant improvements in metallurgy, all these are evident as interdependent factors in the steady but almost imperceptible advance that is taking place.

Bibliographical Summary

Index of Abbreviation

Aut Eng = Automobile Engineer
Phil Mag = Philosophical Magazine
Proc I A E = Proceedings of the Institution of Automobile Engineers.
Proc Roy. Soc = Proceedings of the Royal Society.

Burstall, A. F, "Experiments on the Power and Efficiency of the High-Speed Gas Engine" Proc I A.E., Vol 19, p 620.

Higher power and efficiency can be obtained from the gas engine by increasing the speed. If the spark advance be considerably increased it is possible to run efficiently at speeds of 2000 ft./min. with mixtures 75% of the correct. It is possible to work at very high pressures without detonation. The thermal efficiency of the gas engine always exceeds that of the petrol engine for the same mixture strength.

Burstall, A F, "The Combustion of Carbon Monoxide-Air Mixtures in a High-Speed Engine." Proc. I.A.E, Vol. 21, p. 628

The thermal efficiency and power obtained with carbon monoxide are less than those obtained with other fuels, but it can be used over wide ranges of mixture strength and compression ratio without detonation. The ignition advance required is very considerable, being least with a mixture 5% rich.

Burstall, A. F., "Experiments on the Behaviour of Various Fuels in a High-Speed Internal Combustion Engine." Proc. I.A E., Vol. 22, p. 358.

Three fuels are compared, methane, coal gas and carbon monoxide. The quality of the fuel has only a small effect on the absolute value of the maximum pressure. Highest m. e p. is reached with methane and smallest with coal gas Highest thermal efficiency is obtained with coal gas and smallest with carbon monoxide The order of increasing spark advance was: hydrogen, town gas, methane and carbon monoxide. Carbon monoxide is a very inferior fuel compared with the others.

Finlayson, D., "Carburation." Proc. I.A.E., Vol. 19, p. 522.

Power-mixture-strength curves are given and it is shown that the ideal carburettor characteristic depends on intake suction. The coefficient of discharge of carburettor jets is expressed as a function of a non-dimensional group, and this relationship is used to predict the effect of temperature on discharge characteristics of jets. The characterstics of a simple carburettor and various methods of obtaining compensation are discussed. Measurements of fuel-air ratio delivered by commercial carburettors are given, various methods of expressing fuel volatility are discussed, and carburation efficiency is recorded.

Tait, J N H, "Mixture Distribution in Multi-Cylinder Engines" Aut. Eng., July, 1928, p. 266

Tests were carried out on a 4-cylinder engine with a firing order of 1—3—4—2. Distribution of air was determined by motoring engine and connecting individual exhaust pipes in turn to a gasometer. Results

showed differences in the amount of air received by the cylinders at full load of 1% at 500 r. p. m. and 4% at 1900 r. p. m., the differences being still less at part load. Variations in tappet clearances had an appreciable effect on air distribution.

Wadlow, E. C., "Acceleration." Aut. Eng., Nov., 1928, p. 440.

The author determined engine acceleration on a Sprague dynamometer, measuring the time to reach a certain speed. In this way, induction systems, carburettors, chokes, jets, etc. have been compared.

Young, A. P , Griffiths, L., "The High-Tension Magneto." Proc I.A.E., Vol. 21, p. 544.

Considerable work has been done in England on the development of condensers, distributors, and insulating materials The polar inductor magneto has been developed, and can give satisfactory service over a range of spark frequency of from 6 to 300 sparks per sec. British manufacturers have developed the spark gap distributor, improved contact breaker design, deleted lubricators for ball bearings, developed unit construction of the main body casting, and simplified the control of the ignition system. British manufacturers were the first to recognise the importance of Cobalt steels for magnetos. Extensive research has been carried out on the manufacture and application of tungsten contacts, and on the development of paper as a dielectric. The low speed sparking characteristics of magnetos have been improved and the energy content of the spark increased. Dual ignition systems have been developed in the direction of minimising number of components.

Burgoine, A. C., "Electric-Ignition Equipment." Proc. I. A. E., Vol. 20, p. 408

The effect of crankshaft speed on spark energy and voltage is given for the coil system and for light British and heavy foreign magnetos.

Watson, E. A., "The Effect of Hydrocarbon Vapour on the Contact Points of Ignition Apparatus." Proc. I. A. E., Vol. 22, p. 812.

Conditions governing arcing of contact points have been studied. Provided the peak voltage in the primary winding did not rise to 300 V, arcing depended on the current broken. Increasing the condenser capacity or decreasing the inductance permitted a larger current to be broken. Tests made with platinum contacts in hydrocarbon vapours showed that the contact points were attacked, and much more rapid wear took place than in air With tungsten contacts, when hydrocarbon vapours were present there was no sign of deep pitting or of commencement of cracks and the carbon present was loosely adherent

Rowell, H. S., Williams, C. G., "Automatic Spark Advance " Proc. I. A E , Vol. 23, p. 586.

The importance of correct spark advance as regards acceleration, exhaust temperature, etc., is emphasised, and the factors effecting spark advance are discussed. Actual requirements of typical engines are given. The spark advance obtained with various centrifugal me-

chanisms is given, with measurement of torque required to drive the magneto. A speed throttle control system is suggested.

Morgan, J. D., "The Thermal Theory of Gas Ignition by Electric Sparks." Phil. Mag., 49, 323—36 (1925).

The incendivity of capacity sparks is found in general to be greater than that of inductance sparks, and depends upon shape and relative position of spark electrodes in a manner to be expected on the thermal theory.

Taylor Jones, E., "Spark Ignition." Phil. Mag., Dec., 1928, p. 1090.

The most effective spark is that which heats the greatest volume of gas to the ignition temperature. This theory of the thermal action of a spark is used to explain the effectiveness of a condenser connected across a spark gap since the action of a condenser is to shorten duration of discharge without affecting total energy.

Watson, E. A., "The Electrical Characteristics of Spark Gaps." Proc. I. A. E., Vol. 22, p. 426.

The effect of corona in ignition circuits at high voltages has been studied. Instruments have been developed to measure sparking voltage, and measurements under engine conditions made by Watson and the Research Association. For normal plugs, the steady running voltage ranged between 4500 and 6000 V, for thin exposed electrodes it fell as low as 3000 V, while racing type plugs gave voltages up to 8000. Tests with a variable compression engine showed a slight increase in voltage with increase in compression ratio, but the increase was very much less than would be obtained in static tests. Sparking voltage was a sensitive index of incipient detonation. High voltages may be reached with certain types of plugs if the gap is allowed to exceed 0.5 mm appreciably. Plug position affects the voltage.

Wynn-Williams, C. E., "The Theory of the 'Three-Point Gap'." Phil. Mag., Feb., 1926, p. 353.

When a third pointed electrode is brought near one of the electrodes of a spark gap, the impulsive sparking voltage of the main gap is reduced.

"Explosive Reactions in Gaseous Media." Engineering, June 18, 1926, p 733.

Dickson, *Harwood* and *Higgins* have experimented with the ignition point of gases in a Ricardo engine. *David* has experimented with various radiations in gaseous explosions.

Payman, W., "The Detonation Wave in Gaseous Mixtures and the Predetonation Period." Proc. Roy. Soc. (London), Vol. A 120, p. 90, (1928.)

The predetonation period and inception of detonation in gaseous mixtures have been studied photographically Photographs of hitherto invisible compression waves show their origin in gases through which flame has passed. The waves are due to renewed chemical activity behind the wave front.

Fenning, R. W., "Closed-Vessel Explosion of Mixtures of Air and Liquid Fuels" Engineering, Feb. 5, 1926, p. 180.

Records were made of the pressure rise in bombs with different fuels, mixture strengths, initial temperatures and with additions of small quantities of exhaust gas.

Fenning, "Detonation Tests of Petrol Engine Fuels." Engineering, July 3, 1925, p. 18.

Experiments on influence of initial pressure and temperature on production of detonation in closed vessels are not in accord with experiences of motor engineers, and do not, so far, help to clear up peculiarities of detonation.

Callendar, H. L., King, R. O., Sims, C. J., "Dopes and Detonation" Engineering, April 9, 16, 23, 30, May 21, June 4, 1926, pp. 475, 509, 543, 605, 665, Feb. 4, 11, 19, 1927, pp. 147, 182, 210.

Detonation can be explained by the accumulation of peroxides in nuclear drops in which part of the fuel exists during compression. These peroxides are formed by oxidation of detonating fuels, such as ethers and paraffin-hydrocarbons, but not by non-detonating fuels, such as alcohols and benzene. Peroxides act as primers. The action of "dopes" is explained by the fact that they reduce the peroxides as rapidly as they are formed.

Egerton, A., Gates, S. F., "Detonation in Gaseous Mixtures at High Initial Pressures and Temperatures" Proc. Roy. Soc., Vol. 114, p. 152.

Detonation in acetylene and pentane mixtures at high initial temperatures and pressure has been investigated photographically. Increase of initial pressure resulted in earlier detonation, but after a certain limit further increase made very little difference. Rise of initial temperature appeared to delay detonation. Lead tetraethyl did not affect the position of onset of detonation.

Egerton, A., "Engine Knock and Related Problems." Nature, July 7, 1928, p. 20.

Anti-detonants act as inhibitors of oxidation and therefore raise ignition temperature. They act on certain products of primary oxidation of hydrocarbons which otherwise tend to set up chains of reactions by activating other fuel molecules. Antidetonants break the chains. In an engine they are rendered effective by the temperature and oxidation to which they and the charge are exposed during compression.

Egerton, A., "Engine Knock and Related Problems." Engineering, June 1, 1929, p. 673.

All anti-knocks effective in engines were found to have the common property that the equilibrium point between their lower and higher oxides lay within the range of temperature at which they were required to work. Anti-knocks were effective by interfering with the formation of chains of reacting molecules, which might become centres of high

energy. The author considered that knock was not akin to detonation, but was due to inequalities in condition of charge set up, particularly in regions of high pressure and temperature, near hot exhaust valves

Maxwell, G. B., Wheeler, R. V, "Pinking and Non-Pinking Fuels." Aut. Eng, April, 1928, p. 132.

Movements of flame have been studied simultaneously with development of pressure. It is shown that the anti-knock action of lead tetraethyl is due to decomposition products and not to the chemical itself Pinking was eliminated by means of turbulence. It appeared that in a pinking explosion the shock caused almost instantaneous completion of combustion throughout the cylinder with rapid increase in pressure.

Sims, C J., Mardles, E. J. W., "The Effect of Metallic Sols in Delaying Detonation in Internal Combustion Engines" Engineering, June 25, 1926, p. 774.

A study was made of methods of preparing colloidal sols in petrol sufficiently stable to use in engine tests. Results show that sols of iron, lead and nickel are just as effective as organo-metallic compounds, and support the view that it is the metal alone which is active.

King, R O, Moss, H., "The Measurement of Detonation in Internal Combustion Engines." Engineering, Aug 23 & 30, 1929, pp 219 and 272.

As the proportion of benzole in petrol was increased from 0 to 50%, the permissible compression ratio increased from 4,75 to 6,35, fuel consumption decreased 20%, and fuel cost increased by 16%, thus giving a net saving of 4%. Approximately the same results were obtained with ethyl fluid, but the cost of fuel per b.h.p. reached a minimum at a compression ratio of 5,6 with 6 ccm ethyl fluid per gallon. Thus, little saving in fuel cost is to be expected from special fuels.

Ricardo, H R, "Mechanical Design and Detonation." Aut. Eng, Jan., 1928, p. 23.

The effect of cylinder size on detonation was determined on a range of single cylinder sleeve valve engines of $2^3/_4$, $3^1/_2$, $5^1/_2$ and $8^1/_2$ in. bore. The highest useful compression ratios for these engines were as follows — 7,9; 7,3; 6,2; 5,4.

Ricardo, H R, "Some Notes on Petrol Engine Development." Proc. I A E., Vol 21, p. 462.

The author measured the variation in power, economy, and heat flow over a range of compression ratios, and showed that surplus heat flow diminished very rapidly with increase of compression. By the use of quartz windows in the cylinder head, movement of flame across the combustion chamber was recorded with the corresponding pressure rise When detonation occurred, a bright flash appeared simultaneously in all windows when the flame reached the last window. Thirty different heads were tested in this way. It is concluded that more can be done by studying shape of combustion chamber than by doping the fuel

Tests have been carried out on almost identical engines, one with side valves and the other with overhead valves. The performance was identical but the tendency to detonate was much less on the side valve engine.

Ricardo, H. R., "Cylinder Head Design." Aut. Eng., July & Aug., 1929, pp. 257 & 284.

The highest compression ratio was obtained with sparking plug nearly in centre of effective combustion chamber, with slight bias towards exhaust valve. Turbulence reduced detonation by keeping unburnt gas in rapid motion, but over range of turbulence practicable in engines, the effect was not very large. A reduced clearance between piston and cylinder head in the 'turbulent' type of head had a marked effect in reducing detonation. Orderly uni-directional turbulence gave very poor results in a sleeve-valve engine. Rate of burning depended primarily upon turbulence but also upon compression ratio, and best power and efficiency were obtained at full load when rate of rise of pressure was about 30 lb./sq.in. per deg. crank angle. In the 'turbulent' head, turbulence was proportional to velocity through inlet valve and to velocity through restricted throat between combustion chamber and cylinder, but if either velocity was exaggerated, volumetric efficiency was reduced. The influence of the shape of the main chamber was negligible. Engine roughness depended not on the maximum rate of pressure rise but on the abruptness of the initial application of pressure, and *Ricardo* suggests that the degree of turbulence which may be used without roughness is a measure of engine rigidity. A "shock absorber" head has been developed in which a small portion of the charge is isolated and is ignited first so that initial rate of pressure rise is slow.

Ricardo, H. R., "Notes on the Design of High-Speed Internal Combustion Engines." Proc. I.A.E., Vol. 20, p. 488.

According to the author's experience, if turbulence is too low, the spark advance is excessive and very sensitive, and both power and fuel consumption are bad. Excessive turbulence is characterised by harsh and rough running at all speeds, and the engine is not responsive to spark advance.

Whatmough, W. A., "Combustion Chamber Design in Theory and Practice." Aut. Eng., Sept., 1929, p. 329.

Detonation can be reduced by directing flame travel from the hottest to cooler zones of combustion chamber and by reducing heating of exhaust valve by stream-lining flow of exhaust gas so as to give minimum contact between flame and valve head.

Morgan, W., Rubbra, A. A., "The Optical Indicator as a Means of Examining Combustion in Explosion Engines." Proc I.A.E, Vol. 21, p. 144.

The authors examined conditions in an engine during initiation of combustion by means of a *Watson-Dalby* indicator. The instrument was examined for possible errors, and it was shown that an indicator

with a recording diaphragm remote from the cylinder was unsuitable A corrugated diaphragm gave practically a straight-line graph with great simplification in estimating rates of pressure change. Cooling of the diaphragm was essential.

Fedden, A. H. R, "The Supercharging of Aircraft and Motor Vehicle Engines." Proc. I.A.E., Vol. 21, p. 310.

Exhaustive tests have been made at the Royal Aircraft Establishment to determine influence of temperature and pressure of inlet gases on engine performance. The performance of gear and exhaust turbo superchargers has been determined. The lubrication of blower bearings has been studied, with the result that speeds of 25000 to 30000 r.p.m. were attained.

Merritt, H. E., "Automobile Gears." Proc. I.A E., Vol. 20, p, 667.

Camshaft drives and overhead camshafts are discussed and the action of pump gears is analysed. Measurements of the delivery coefficient of pump gears with different forms of tooth are given.

Briggs, H., "The Elimination of Noise in the Motor Cycle." Proc. I.A.E., Vol. 20, p. 266.

The author has tested 12 makes of silencers. Temperature, back pressure, and power readings were taken. The fitting of an efficient silencer resulted in a considerable reduction of power with slightly increased temperature of cylinder head. Lower back pressures and quieter exhausts were obtained by the use of two silencers in series.

Low, B. B, "Stresses in Connecting Rods." Engineering, Aug. 14, 1925, p. 185.

The inertia bending of connecting rods is analysed and approximate methods of plotting the bending moment due to inertia forces are given so that maximum stress can be determined.

Carrington, H., "Bending and Torsional Strains and Stresses in a Loaded Crankshaft" Engineer, May 21, 1926, p. 520.

A two-throw crankshaft was subjected to torsional and bending loads, and strains along the web, crankpin etc were measured by means of an extensometer Couples and stresses were calculated by the ordinary theories of bending and torsion. The measured torsional and bending couples were equal to or less than the applied couples, this probably being due to the stiffening effect of crankpin and journals. There was, also, no evidence that direct shear had any influence on measured strains.

Carter, B. C., "Crankshaft Stiffness in Torsion." Engineering, July 13, 1928, p. 36.

As result of stiffness tests on crankshafts, the author suggests an empirical formula for crankshafts twisted in bearings with average working clearances. The average ratio of torsional stiffness of each crank to that of corresponding continuous journal was $^1/_2$ for motor car crankshafts.

"Crankshaft Stiffness." Engineering, Nov. 1, 1929, p 548.

Stiffness of a shaft was determined out of its bearings, and as a standard of comparison, a normal shaft was defined and the effect of chamfers or other irregular features was expressed as a percentage change in stiffness. The in-bearing stiffness was determined from the out-of-bearing stiffness by multiplying by a factor.

Gibson, A. H., "Piston Temperatures and Heat Flow in High-Speed Petrol Engines." Engineering, Jan. 9, Feb. 5, 1926, pp. 150, 183.

Experiments show that slight changes in clearances do not seriously affect piston temperature though the effect of increased clearance is to increase the drop in temperature between the edge of piston and wall. The difference between temperature of wall and skirt was about the same for pistons of different design. A reduction in bearing surface increased drop in temperature by 13 deg. C. There was little difference in the temperatures of various aluminium pistons, but the maximum temperature of a cast iron piston was 200 deg. C. higher. The temperature diminished slightly as the compression ratio was increased. The maximum power mixture gave maximum piston temperature, and highest temperature was obtained with smallest spark advance. The temperature on the edge of the head was 250 deg. C. and the drop across oil gap, 53 deg. C. Tests on aluminium pistons in a watercooled engine showed that piston cooling was very largely due to oil splash in this case. Calculations show that fluctuation of surface temperature was almost negligible.

"Piston Ring Friction in Internal Combustion Engines." Engineering, June 26, 1925, p. 808.

Stanton's pendulum apparatus was used for determining friction of pistons and piston rings. Experiments prove that lubrication of piston rings with castor oil was of boundary type and depended upon normal pressure between rings and cylinder. With small pressures and high viscosity, oil film lubrication was obtained.

Hoblyn, J. B., "Lubricating Oils under Oxidising Conditions." Proc. I.A.E., Vol. 19, p. 280.

The decomposition of oils at 250 deg. C. was measured and as a result it is suggested that oil that suffers least loss and that can be maintained for a length of time at elevated temperatures without showing signs of decomposition is the one most suitable for use in high-speed engines.

Marshall, A. G., "Lubricating Oils. Laboratory Tests in Relation to Practical Results." Engineering, April 8, 1927, p. 45.

The effect of oiliness on piston lubrication was studied and showed no difference between mineral oils and oils containing fatty acids. The effect of fatty oils could only be shown by reducing lubrication practically to vanishing point The wear of bearings was not affected by interchanging mineral and compounded oils. It was shown that coking and oxidation tests do not give any indication of the results to be expected from engines.

Southcombe, J. E., "Recent Researches on Friction and Lubrication." Proc. I.A.E., Vol. 21, p. 96.

Experiments are quoted which show that the addition of fatty acids minimises wear and permits heavier loads with lower viscosities.

Bailey, R. W., "The Determination of the Thermal Efficiency and Performance of Ideal Internal Combustion Engines." Engineering, Oct. 2, 1925, p. 403.

A fluid which complies with equation $pv = RT$, and which can have its specific heat represented by a power series, satisfies the following equations for an adiabatic change, $\frac{p}{y} =$ constant, $vZ =$ constant, where Z and Y are functions of absolute temperature T. Values of Z and Y and of internal energies are given.

Mitchell, E. F., "Internal Combustion Engine Efficiency and its Determination by the Aid of a Chart." Engineering, Sept. 28, 1929, p. 412.

It is shown how to plot curves giving values of internal energy and showing effect of adiabatic changes on a temperature base. From these curves various temperatures of cycle can be calculated and efficiency determined.

Goudie, W. J., "The Determination of Standard Efficiencies of Internal Combustion Engines by the Energy Chart." Engineering, Nov. 30, 1928, p. 695.

An energy chart has been developed in which ordinates are absolute temperatures and abscissae are entropy and heat energy. A portable scale of compression ration is used and it is possible to determine explosion and exhaust temperatures and ideal temperatures.

Jeffcott, H. H., "The Thermal Efficiencies of Standard Cycles for Internal Combustion Engines." Phil. Mag., Feb., 1929, p. 386.

Ordinary gas laws and equations giving variations of specific heat with temperature are used, and functions are developed which give, in terms of temperature, heat received and rejected.

Ricardo, H. R., "Engines of High Output." 1926, p. 49.

The data of Tizard and Pye for increase in specific heat at high temperatures are used in order to calculate actual efficiencies, and the results are checked on a variable compression engine, with very close agreement between theory and experiment.

Ricardo, H. R., "Light High-Speed Internal Combustion Engines" Engineering, June 15, 1928, p. 751.

The highest thermal efficiency then recorded, 39.5% brake, was obtained on the Napier aero-engine which won the Schneider Trophy in 1927.

Argentinien

Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit des Transports mit Eisenbahn und Kraftwagen in Argentinien

Argentinisches Nationalkomitee

Dipl.-Ing. W. Wagner

Die gewaltige Entwicklung des Kraftwagens in den letzten Jahrzehnten hat die an dem Transport der Güter interessierten Kreise zu ernsten Studien über den Bereich der Überlegenheit in der Wirtschaftlichkeit veranlaßt. Diese Forschungen verfolgen vor allen Dingen den Zweck, unnützen Wettbewerb auszuschalten und jedem einzelnen Transportmittel sein Gebiet zuzuerkennen, und auf diese Weise statt des Gegeneinanderarbeitens ein ersprießliches Zusammenarbeiten zu erzielen und auf gegenseitige Ergänzung hinzuwirken.

Bei der ungeheuren Ausdehnung und Mannigfaltigkeit Argentiniens ist es schwer, in umfassender Form diesen Gegenstand zu behandeln, und so beschränkt sich diese Studie auf das weite argentinische Flachland, das ungefähr $^4/_5$ des argentinischen Staates ausmacht. In diesem Gebiet spielt sich auch der weitaus größte Teil des Verkehrs ab. Hier befinden sich die großen Grundbesitze, auf denen mit modernen Hilfsmitteln der Ackerbau und in sehr ausgedehntem Maße Viehzucht betrieben wird.

Da die Kosten des Transportes mit Kraftwagen sehr von der Beschaffenheit der Straßen beeinflußt sind, wird die Ermittlung dieser Kosten für die Beförderung auf unterhaltenen Erdstraßen und auf befestigten Landstraßen durchgeführt. Wenn auch letztere nur in einer ununterbrochenen Länge von 100 km vorhanden sind, wurde trotzdem die Berechnung der Kosten auch für längere Strecken gemacht, um die wahrscheinliche Grenze der Wirtschaftlichkeit festzustellen.

Ermittlung der Transportkosten mittels Kraftwagen

Die Berechnung derselben stützt sich auf Erfahrungswerte, die in dem Transportgeschäft „Genova Transporte“ und teilweise in den Betrieben der „Siemens Bauunion“ ermittelt worden sind. Die Kostenberechnung beschränkt sich auf die hier am meisten verwendeten Typen, nämlich den 1,5-t-Kraftwagen (Chevrolet und Ford), den 5-t-Kraftwagen (Republic und Henschel) und den 5-t-Kraftwagen mit 5-t-Anhänger, der in der Folge als 5+5-t-Kraftwagen benannt wird. Für Gewinn und

allgemeine Verwaltungskosten sind zu den ermittelten Selbstkosten beim 1,5-t-Krw. 12% und beim 5-t- und 5+5-t-Krw. 10% zugeschlagen worden.

A. Ermittlung der Transportkosten auf unterhaltenen Erdstraßen

1 $\$^{c}/_{l}$ (Papierpeso) = 0,425 Dollar

1,5-t-Kraftwagen

Anschaffungspreis $\$^{c}/_{l}$ 2500,— — Abschreibung in 2 Jahren

I. Berechnung der Jahresausgaben:

Entwertung	$\$^{c}/_{l}$	1250,—
Zinsen 7% von $\$^{c}/_{l}$ 2500,—	„	175,—
Stadt. Patentgebuhren	„	50,—
Unfallversicherung	„	300,—
	$\$^{c}/_{l}$	1775,—

II. Ermittlung der Betriebskosten fur 1 Tag = $\frac{1}{240}$ Jahr:

a) 100 km Transport

Abschreibung $\frac{1775,—}{240}$	$\$^{c}/_{l}$	7,40
Bedienung	„	8,—
Brennstoff, 23 l à $\$^{c}/_{l}$ —,25	„	5,75
Schmiermittel, 1 l à $\$^{c}/_{l}$ 1,—	„	1,—
Gummibereifung	„	5,—
Instandhaltung	„	1,—
Ausbesserungen	„	2,—
	$\$^{c}/_{l}$	30,15
Gewinn und Verwaltung 12%	„	3,65
	$\$^{c}/_{l}$	33,80

b) 150 km Transport

Abschreibung $\frac{1775,—}{240}$	$\$^{c}/_{l}$	7,40
Bedienung	„	8,—
Brennstoff, 35 l à $\$^{c}/_{l}$ —,25	„	8,75
Schmiermittel, 1,5 l à $\$^{c}/_{l}$ 1,—	„	1,50
Gummibereifung	„	7,50
Instandhaltung	„	1,50
Ausbesserungen	„	3,—
	$\$^{c}/_{l}$	37,65
Gewinn und Verwaltung 12%	„	4,50
	$\$^{c}/_{l}$	42,15

c) 200 km Transport

Abschreibung $\frac{1775,-}{240}$	$^c/_l	7,40
Bedienung	,,	8,—
Brennstoff, 45 l à $^c/_l —,25	,,	11,25
Schmiermittel, 2 l à $^c/_l 1,—	,,	2,—
Gummibereifung	,,	10,—
Instandhaltung	,,	2,—
Ausbesserungen	,,	4,—
	$^c/_l	44,65
Gewinn und Verwaltung 12%	,,	5,35
	$^c/_l	50,—

Ermittlung der Transportkosten auf unterhaltenen Erdstraßen

1 $^c/_l (Papierpeso) = 0,425 Dollar

5-t-Kraftwagen

Anschaffungspreis $^c/_l 18000,— — Abschreibung in 3 Jahren

I. Berechnung der Jahresausgaben:

Entwertung	$^c/_l	6000,—
Zinsen 7% von $^c/_l 18000,—	,,	1260,—
Stadt. Patentgebühr	,,	500,—
Unfallversicherung	,,	500,—
	$^c/_l	8260,—

II. Ermittlung der Betriebskosten für 1 Tag = $\frac{1}{240}$ Jahr:

a) 100 km Transport

Abschreibung $\frac{8260,-}{1240}$	$^c/_l	34,40
Bedienung	,,	10,—
Brennstoff, 70 l à $^c/_l —,25	,,	17,50
Schmiermittel, 2 l à $^c/_l 1,—	,,	2,—
Gummibereifung	,,	10,—
Instandhaltung	,,	3,—
Ausbesserungen	,,	5,—
	$^c/_l	81,90
Gewinn und Verwaltung 10%	,,	8,20
	$^c/_l	90,10

b) 150 km Transport

Abschreibung $\frac{8260,-}{240}$	$^c/_l	34,40
Bedienung	„	10,—
Brennstoff, 105 l à $^c/_l —,25	„	26,25
Schmiermittel, 3 l à $^c/_l 1,—	„	3,—
Gummibereifung	„	15,—
Instandhaltung	„	4,50
Ausbesserungen	„	7,50
	$^c/_l	100,65
Gewinn und Verwaltung 10%	„	10,05
	$^c/_l	110,70

c) 200 km Transport

Abschreibung $\frac{8260,-}{240}$	$^c/_l	34,40
Bedienung	„	10,—
Brennstoff, 140 l à $^c/_l —,25	„	35,—
Schmiermittel, 4 l à $^c/_l 1,—	„	4,—
Gummibereifung	„	20,—
Instandhaltung	„	6,—
Ausbesserungen	„	10,—
	$^c/_l	119,40
Gewinn und Verwaltung 10%	„	11,95
	$^c/_l	131,35

Ermittlung der Transportkosten auf unterhaltenen Erdstraßen

1 $^c/_l (Papierpeso) = 0,425 Dollar

5+5-t-Kraftwagen

Anschaffungspreis:	Kraftwagen	$^c/_l	18000,—
	Anhanger	„	2500,—
		$^c/_l	20500,—

Abschreibung in 3 Jahren

I. Berechnung der Jahresausgaben:

Entwertung	$^c/_l	6835,—
Zinsen 7% von $^c/_l 20500,—	„	1435,—
Stadt. Patentgebühr	„	750,—
Unfallversicherung	„	700,—
	$^c/_l	9720,—

II. Ermittlung der Betriebskosten für 1 Tag = $\frac{1}{240}$ Jahr:

a) 100 km Transport

Abschreibung $\frac{9720,-}{240}$	\$ c/l	40,50
Bedienung \$ c/l 10,— plus \$ c/l 6,—	,,	16,—
Brennstoff, 100 l à \$ c/l —,25	,,	25,—
Schmiermittel, 3 l à \$ c/l 1,—	,,	3,—
Gummibereifung	,,	15,—
Instandhaltung	,,	5,—
Ausbesserungen	,,	10,—
	\$ c/l	114,50
Gewinn und Verwaltung 10%	,,	11,45
	\$ c/l	125,95

b) 150 km Transport

Abschreibung $\frac{9720,-}{240}$	\$ c/l	40,50
Bedienung	,,	16,—
Brennstoff, 150 l à \$ c/l —,25	,,	37,50
Schmiermittel, $4\frac{1}{2}$ l à \$ c/l 1,—	,,	4,50
Gummibereifung	,,	22,50
Instandhaltung	,,	7,50
Ausbesserungen	,,	15,—
	\$ c/l	143,50
Gewinn und Verwaltung 10%	,,	14,35
	\$ c/l	157,85

c) 200 km Transport

Abschreibung $\frac{9720,-}{240}$	\$ c/l	40,50
Bedienung	,,	16,—
Brennstoff, 200 l à \$ c/l —,25	,,	50,—
Schmiermittel, 6 l à \$ c/l 1,—	,,	6,—
Gummibereifung	,,	30,—
Instandhaltung	,,	10,—
Ausbesserungen	,,	20,—
	\$ c/l	172,50
Gewinn und Verwaltung 10%	,,	17,25
	\$ c/l	189,75

B. Ermittlung der Transportkosten auf befestigten Straßen

1 $\$^{c}/_{l}$ (Papierpeso) = 0,425 Dollar

1,5-t-Kraftwagen

I. Berechnung der Jahresausgaben: siehe unter A.

II. Ermittlung der Betriebskosten fur 1 Tag = $\frac{1}{240}$ Jahr:

a) 100 km Transport

Abschreibung $\frac{1775,-}{240}$	$\$^{c}/_{l}$	7,40
Bedienung	„	8,—
Brennstoff, 18 l à $\$^{c}/_{l}$ —,25	„	4,50
Schmiermittel, 1 l à $\$^{c}/_{l}$ 1,—	„	1,—
Gummibereifung	„	3,—
Instandhaltung	„	1,—
Ausbesserungen	„	1,50
	$\$^{c}/_{l}$	26,40
Gewinn und Verwaltung 12%	„	3,15
	$\$^{c}/_{l}$	29,55

b) 150 km Transport

Abschreibung $\frac{1775,-}{240}$	$\$^{c}/_{l}$	7,40
Bedienung	„	8,—
Brennstoff, 26 l à $\$^{c}/_{l}$ —,25	„	6,50
Schmiermittel, $1^{1}/_{2}$ l à $\$^{c}/_{l}$ 1,—	„	1,50
Gummibereifung	„	4,50
Instandhaltung	„	1,50
Ausbesserungen	„	2,—
	$\$^{c}/_{l}$	31,40
Gewinn und Verwaltung 12%	„	3,80
	$\$^{c}/_{l}$	35,20

c) 200 km Transport

Abschreibung $\frac{1775,-}{240}$	$\$^{c}/_{l}$	7,40
Bedienung	„	8,—
Brennstoff, 35 l à $\$^{c}/_{l}$ —,25	„	8,75
Schmiermittel, 2 l à $\$^{c}/_{l}$ 1,—	„	2,—
Gummibereifung	„	6,—
Instandhaltung	„	2,—
Ausbesserungen	„	2,50
	$\$^{c}/_{l}$	36,65
Gewinn und Verwaltung 12%	„	4,40
	$\$^{c}/_{l}$	41,05

Ermittlung der Transportkosten auf befestigten Straßen

1 $°/₁ (Papierpeso) = 0,425 Dollar

5-t-Kraftwagen

I. Berechnung der Jahresausgaben: siehe unter A.

II. Ermittlung der Betriebskosten für 1 Tag = $\frac{1}{240}$ Jahr:

a) 100 km Transport

Abschreibung $\frac{8260,-}{240}$	$°/₁	34,40
Bedienung	,,	10,—
Brennstoff, 50 l à $°/₁ —,25	,,	12,50
Schmiermittel, 2 l à $°/₁ 1,—	,,	2,—
Gummibereifung	,,	7,—
Instandhaltung	,,	3,—
Ausbesserungen	,,	4,—
	$°/₁	72,90
Gewinn und Verwaltung 10%	,,	7,30
	$°/₁	80,20

b) 150 km Transport

Abschreibung $\frac{8260,-}{240}$	$°/₁	34,40
Bedienung	,,	10,—
Brennstoff, 75 l à $°/₁ —,25	,,	18,75
Schmiermittel, 3 l à $°/₁ 1,—	,,	3,—
Gummibereifung	,,	10,50
Instandhaltung	,,	4.50
Ausbesserungen	,,	6,—
	$°/₁	87,15
Gewinn und Verwaltung 10%	,,	8,70
	$°/₁	95,85

c) 200 km Transport

Abschreibung $\frac{8260,-}{240}$	$°/₁	34,40
Bedienung	,,	10,—
Brennstoff, 100 l à $°/₁ —,25	,,	25,—
Schmieröl, 4 l à $°/₁ 1,—	,,	4,—
Gummibereifung	,,	14,—
Instandhaltung	,,	6,—
Ausbesserungen	,,	8,—
	$°/₁	101,40
Gewinn und Verwaltung 10%	,,	10,15
	$°/₁	111,55

Ermittlung der Transportkosten auf befestigten Straßen

1 \$c/l (Papierpeso) = 0,425 Dollar

5+5-t-Kraftwagen

I. Berechnung der Jahresausgaben: siehe unter A.
II. Ermittlung der Betriebskosten für 1 Tag = $\frac{1}{240}$ Jahr:

a) 100 km Transport

Abschreibung $\frac{9720,-}{240}$	\$c/l	40,50
Bedienung	„	16,—
Brennstoff, 80 l à \$c/l —,25	„	20,—
Schmiermittel, 3 l à \$c/l 1,—	„	3,—
Gummibereifung	„	10,—
Instandhaltung	„	5,—
Ausbesserungen	„	8,—
	\$c/l	102,50
Gewinn und Verwaltung 10%	„	10,25
	\$c/l	112,75

b) 150 km Transport

Abschreibung $\frac{9720,-}{240}$	\$c/l	40,50
Bedienung	„	16,—
Brennstoff, 120 l à \$c/l —,25	„	30,—
Schmiermittel, $4^1/_2$ l à \$c/l 1,—	„	4,50
Gummibereifung	„	15,—
Instandhaltung	„	7,50
Ausbesserungen	„	12,—
	\$c/l	125,50
Gewinn und Verwaltung 10%	„	12,55
	\$c/l	138,05

c) 200 km Transport

Abschreibung $\frac{9720,-}{240}$	\$c/l	40,50
Bedienung	„	16,—
Brennstoff, 160 l à \$c/l —,25	„	40,—
Schmiermittel, 6 l à \$c/l 1,—	„	6,—
Gummibereifung	„	20,—
Instandhaltung	„	10,—
Ausbesserungen	„	16,—
	\$c/l	148,50
Gewinn und Verwaltung 10%	„	14,85
	\$c/l	163,35

Bestimmung der täglichen Leistungen

Auf Grund der im Betrieb festgestellten Geschwindigkeiten in der Stunde wird in der Folge die tägliche Leistung in 8 h ermittelt. In der durchschnittlichen Geschwindigkeit sind kleinere Unterbrechungen, wie Auffüllen des Benzintanks und kurze Ruhepausen, inbegriffen.

a. *Auf unterhaltenen Erdstraßen*

1,5-t-Krw.	25 km/h,	in 8 h	200 km
5 -t- „	20 „	„ 8 „	160 „
5+5 -t- „	15 „	„ 8 „	120 „

b. *Auf befestigten Straßen*

1,5-t-Krw.	30 km/h,	in 8 h	240 km
5 -t- „	25 „	„ 8 „	200 „
5+5 -t- „	20 „	„ 8 „	160 „

Berechnung der Kosten eines Tonnen-Kilometers (tkm)

I. Wenn der Zeitverlust infolge Auf- und Abladens unberücksichtigt bleibt, ergeben sich für 1 tkm folgende Durchschnittskosten:

a. *Auf unterhaltenen Erdstraßen*

$$\text{1,5-t-Krw.} - 1\ \text{tkm} = \frac{50{,}00}{200 \cdot 1{,}5} = 0{,}1667\ \$^{c}/_{1}$$

$$\text{5-t-Krw.} - 1\ \text{tkm} = \frac{110{,}70 + \frac{1}{5} \cdot 20{,}65}{160 \cdot 5} = 0{,}1435\ \$^{c}/_{1}$$

$$\text{5+5-t-Krw.} - 1\ \text{tkm} = \frac{125{,}95 + \frac{2}{5} \cdot 31{,}90}{120 \cdot 10} = 0{,}1157\ \$^{c}/_{1}$$

b. *Auf befestigten Straßen*

$$\text{1,5-t-Krw.} - 1\ \text{tkm} = \frac{41{,}05 + \frac{1}{5} \cdot 5{,}85}{240 \cdot 1{,}5} = 0{,}1272\ \$^{c}/_{1}$$

$$\text{5-t-Krw.} - 1\ \text{tkm} = \frac{111{,}55}{200 \cdot 5} = 0{,}1116\ \$^{c}/_{1}$$

$$\text{5+5-t-Krw} - 1\ \text{tkm} = \frac{138{,}05 + \frac{1}{5} \cdot 25{,}30}{160 \cdot 10} = 0{,}0895\ \$^{c}/_{1}$$

II. Ermittlung der Kosten eines tkm bei verschiedenen Transportweiten und unter Berücksichtigung der Zeitverluste durch Auf- und Abladen. Die Kosten für Auf- und Abladen sind nicht eingeschlossen Die Kostenberechnung setzt voraus, daß der Kraftwagen auf der Hin- und Rückfahrt voll beladen ist.

a. *Auf unterhaltenen Erdstraßen*

1. für 10 km

Typ des Kraftwagens ..	1,5 t	5 t	5+5 t
Dauer der Fahrt	50 min	60 min	80 min
Auf- und Abladen	25 „	30 „	40 „
	75 min	90 min	120 min

$$1{,}5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{75} = 6{,}4\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 10 = 128\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{38{,}50}{128 \cdot 1{,}5} = 0{,}200\ \$^{c}/_{1}$$

$$5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{90} = 5{,}3\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 10 = 106\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{92{,}55}{106 \cdot 5} = 0{,}175\ \$^{c}/_{1}$$

$$5+5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{120} = 4\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 10 = 80\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{113{,}15}{80 \cdot 10} = 0{,}1415\ \$^{c}/_{1}$$

2. fur 50 km

Typ des Kraftwagens .	1,5 t	5 t	5+5 t
Dauer der Fahrt	240 min	300 min	400 min
Auf- und Abladen	25 „	30 „	40 „
	265 min	330 min	440 min

$$1{,}5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{265} = 1{,}81\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 50 = 181\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{47{,}00}{181 \cdot 1{,}5} = 0{,}173\ \$^{c}/_{1}$$

$$5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{330} = 1{,}45\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 50 = 145\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{108{,}60}{145 \cdot 5} = 0{,}1495\ \$^{c}/_{1}$$

$$5+5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{440} = 1{,}09\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 50 = 109\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{131{,}70}{109 \cdot 10} = 0{,}1205\ \$^{c}/_{1}$$

3. für 100 km

Typ des Kraftwagens .	1,5 t	5 t	5+5 t
Dauer der Fahrt	480 min	600 min	800 min
Auf- und Abladen	25 „	30 „	40 „
	505 min	630 min	840 min

$$1{,}5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{505} = 0{,}95\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 100 = 190\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{48{,}45}{190 \cdot 1{,}5} = 0{,}1695\ \$^{c}/_{1}$$

$$5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{630} = 0{,}76\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 100 = 152\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{111{,}55}{152 \cdot 5} = 0{,}1465\ \$^{c}/_{1}$$

$$5+5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{840} = 0{,}57\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 100 = 114\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{134{,}85}{114 \cdot 10} = 0{,}118\ \$^{c}/_{1}$$

b *Auf befestigten Straßen*

1. für 10 km

Typ des Kraftwagens .	1,5 t	5 t	5+5 t
Dauer der Fahrt	40 min	50 min	60 min
Auf- und Abladen	25 „	30 „	40 „
	65 min	80 min	100 min

$$1{,}5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{65} = 7{,}4\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 10 = 148\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{35{,}00}{148 \cdot 1{,}5} = 0{,}158\ \$^{c}/_{1}$$

$$5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{80} = 6\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 10 = 120\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{89{,}49}{120 \cdot 5} = 0{,}144\ \$^{c}/_{1}$$

$$5+5\text{-t-Krw} - \frac{480}{100} = 4{,}8\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 10 = 96\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{110{,}72}{96 \cdot 10} = 0{,}1155\ \$^{c}/_{1}$$

2. für 50 km

Typ des Kraftwagens .	1,5 t	5 t	5+5 t
Dauer der Fahrt	200 min	240 min	300 min
Auf- und Abladen	25 „	30 „	40 „
	225 min	270 min	340 min

$$1{,}5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{225} = 2{,}13\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 50 = 213\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{42{,}57}{213 \cdot 1{,}5} = 0{,}1333\ \$^{0}/_{1}$$

$$5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{270} = 1{,}77\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 50 = 177\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{104{,}45}{177 \cdot 5} = 0{,}118\ \$^{0}/_{1}$$

$$5+5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{340} = 1{,}41\ \text{Fahrten} \cdot 2 \cdot 50 = 141\ \text{km} - 1\ \text{tkm} = \frac{133{,}55}{141 \cdot 10} = 0{,}0950\ \$^{0}/_{1}$$

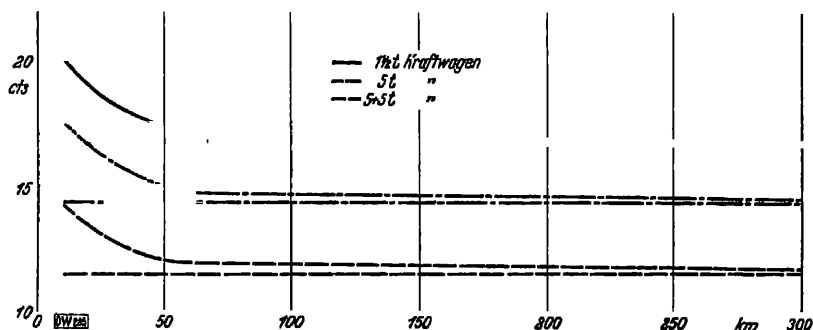



Abb. 1. Graphische Darstellung der Transportkosten für 1 tkm auf unterhaltenen Erdstraßen.

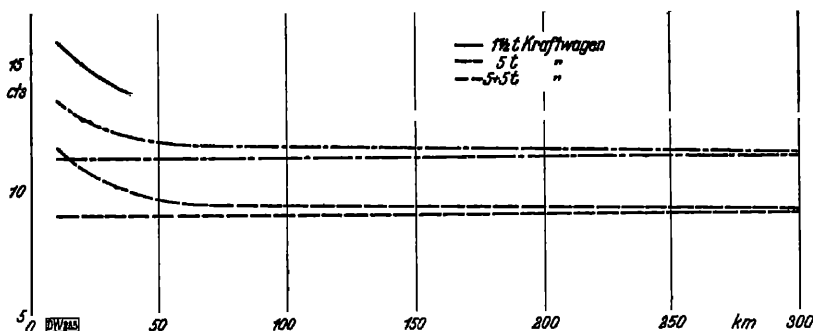



Abb. 2. Graphische Darstellung der Transportkosten für 1 tkm auf befestigter Straße.

Die horizontalen Linien geben die Transportkosten ohne Berücksichtigung des Zeitverlustes beim Auf- und Abladen an

3. für 100 km

Typ des Kraftwagens .	1,5 t	5 t	5+5 t
Dauer der Fahrt	400 min	480 min	600 min
Auf- und Abladen	25 „	30 „	40 „
	425 min	510 min	640 min

$$1{,}5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{425} = 1{,}13 \text{ Fahrten} \cdot 2 \cdot 100 = 226 \text{ km} - 1 \text{ tkm} = \frac{44{,}09}{226 \cdot 1{,}5} = 0{,}130 \ \$ \ ^{c}/_{l}$$

$$5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{510} = 0{,}94 \text{ Fahrten} \cdot 2 \cdot 100 = 188 \text{ km} - 1 \text{ tkm} = \frac{107{,}80}{188 \cdot 5} = 0{,}1145 \ \$ ^{c}/_{l}$$

$$5+5\text{-t-Krw.} - \frac{480}{640} = 0{,}75 \text{ Fahrten} \cdot 2 \cdot 100 = 150 \text{ km} - 1 \text{ tkm} = \frac{138{,}05}{150 \cdot 10} = 0{,}092 \ \$ ^{c}/_{l}$$

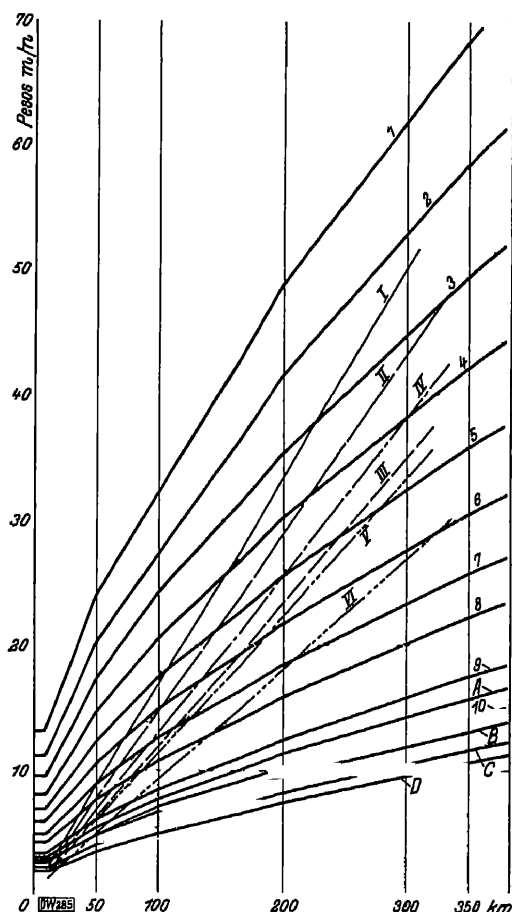



Abb. 3 Central Norte Argentino del Estado Gewöhnliche Frachttarife.
Klassen 1—10. Reduzierte Tarife A—D
Maßstab Horizontal: 1 cm = 20 km Vertikal 1 cm = $ 2,00 m/n.
In den Eisenbahntarifen ist die nach dem Gesetz 10650 zu zahlende Steuer von 5% nicht eingeschlossen

Aus diesen Ergebnissen sind die angefugten graphischen Darstellungen (Abb. 1 und 2) der Kosten für 1 tkm angefertigt worden, die in übersichtlicher Weise den Einfluß der Wartezeiten beim Auf- und Abladen veranschaulichen Diese Tabellen dienen als Unterlage für die Kurven

der Transportkosten, welche in die graphische Tabelle der Eisenbahntarife eingetragen worden sind.

Transportkosten auf der Eisenbahn

Da die Eisenbahnen Argentiniens nicht einer einheitlichen Verwaltung unterstehen, sondern verschiedenen Gesellschaften gehören, zeigen

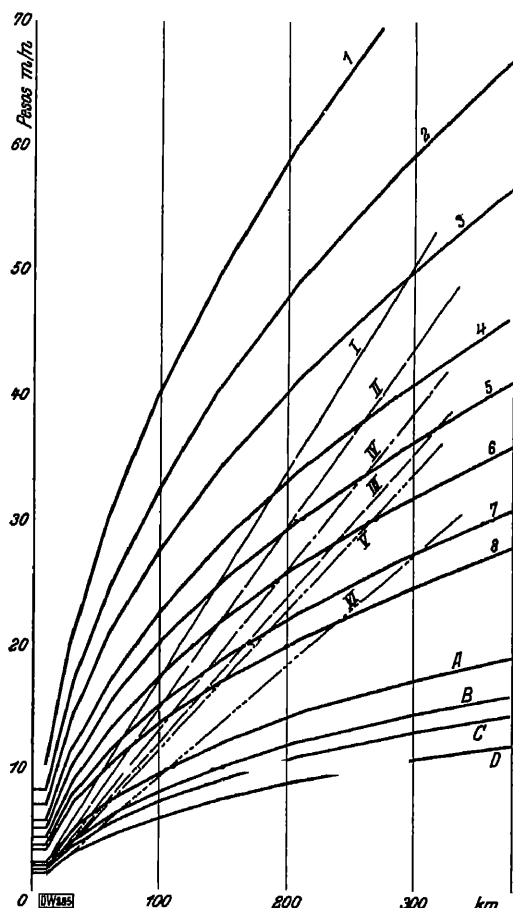



Abb. 4. Ferrocarril Central Cordoba. Gewöhnliche Frachttarife.
Klassen 1—8 Reduzierte Tarife A—D
Maßstab Horizontal 1 cm = 20 km. Vertikal 1 cm = $ 2,00 m/n.
In den Eisenbahntarifen ist die nach dem Gesetz 10650 zu zahlende Steuer von 5% nicht eingeschlossen.

sich in den Tarifen der Eisenbahnen oft wesentliche Unterschiede. In dieser Abhandlung werden der Einfachheit wegen nur drei bedeutende Eisenbahnverwaltungen in Erwagung gezogen, namlich.

Ferrocarriles Del Estado (Staatsbahnen)
Ferrocarril Central Cordoba
Ferrocarril Buenos Aires al Pacifico) } (englische Eisenbahnen)

Die in Abb. 3, 4 und 5 dargestellten Tarife enthalten sämtliche beim Eisenbahnbetrieb entstehende Betriebs- und Verwaltungskosten und den von der argentinischen Staatsregierung genehmigten Gewinnanteil.

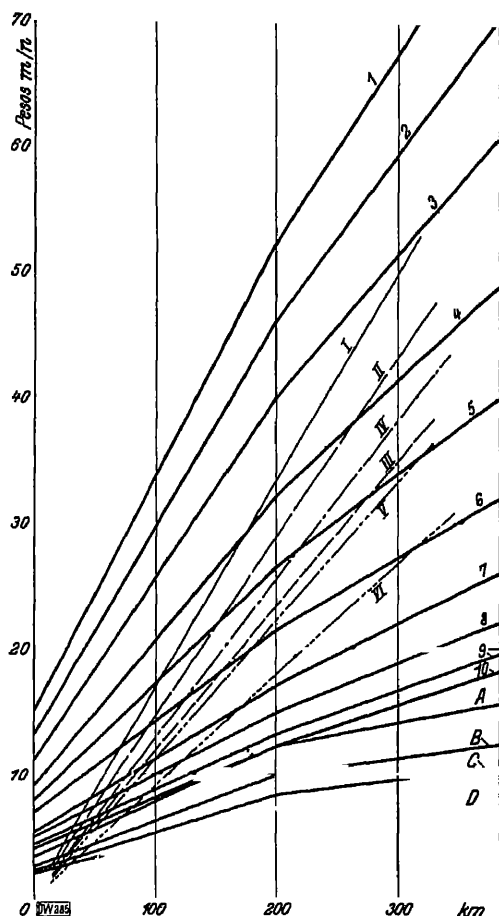



Abb. 5. Ferrocarril Buenos Aires al Pacifico. Gewohnliche Frachttarife
Klassen 1—10 Reduzierte Tarife A—D.
Maßstab: Horizontal. 1 cm = 20 km Vertikal 1 cm = $ 2,00 m/n.
In den Eisenbahntarifen ist die nach dem Gesetz 10650 zu zahlende Steuer von 5% nicht eingeschlossen

Wie aus den Tabellen ersichtlich ist, sind die Tarife nach der Art der Guter klassifiziert. Die Tarifklassen 1 bis 10 beziehen sich auf Transportguter, welche in normalen Mengen befördert werden. Außer diesen gibt es noch die sog. reduzierten Tarife (Vorzugstarife A bis D) fur Guter, welche in größeren Mengen befordert werden. In Zahlentafel 1

Zahlentafel 1 Eingruppierung der Güter in die Tarifklassen

Benennung der Eisenbahnen	Drahtzaun	Alkohol in Fässern	Heu in Ballen	Baumwolle in Ballen	Spezereiwaren	Galanteriewaren	Reis	Sand	Hafer	Zucker	Kalk
	Klasse										
1 Central Norte Argentino del Estado	8	7	A	8	4	1	8	D	B	8	A
2 Central de Córdoba	6	6	A	A	8	1	7	D	B	8	A
3 Buenos Aires al Pacifico . . .	7	6	A/1	7	8	1	7	D/1	B	7	A/1

Benennung der Eisenbahnen	Zuckerrohr	Holzkohle	Steinkohle	Gerste	Portland-Zement	Bier	Schwellen	Eisenwaren	Früchte	Mehl	Landwirtschaftliche Geräte
	Klasse										
1 Central Norte Argentino del Estado	C	B	B	C	9	8	B	4	A	8	6
2 Central de Córdoba	D	B	B	B	8/1	8	B	8	A	6/1	5
3 Buenos Aires al Pacifico . . .	10	B/1	B	B	9/1	7	B/1	8	8/1	6/1	6

Benennung der Eisenbahnen	Petroleum	Ziegelsteine	Wolle gewaschen	Wolle nicht gereinigt	Leinsamen	Rundholz	Bauholz	Mais	Landwirtschaftliche Maschinen	Erze	Kartoffeln
	Klasse										
1 Central Norte Argentino del Estado	5	D	1	4	A	B	9	C	8	10	A
2 Central de Córdoba	4	D	1/1	4/1	A	B	8	C	6	A	A
3 Buenos Aires al Pacifico . . .	5	D/1	1/1	4/1	A	B/1	8	C	6	C	A/1

Benennung der Eisenbahnen	Hausteine	Salz	Samen	Stoffe	Tabak	Weizen	Trauben	Wein in Fässern	Wein in Flaschen	Yerba mate
	Klasse									
1 Central Norte Argentino del Estado	D	C	9	2	7	B	8	8	5	5
2 Central de Córdoba	D	B	7	2	5	B	7/1	7	6	8
3 Buenos Aires al Pacifico . . .	C/1	B/1	7	2	2	B	6/1	6/1	5/1	5

Erklärung der Bezeichnung der Transportkurven für Kraftwagen:

a) auf unterhaltenen Erdstraßen
- I $1^1/_2$ t Kraftwagen
- II 5 t „
- III 5+5 t „

b) auf befestigten Straßen
- IV $1^1/_2$ t Kraftwagen
- V 5 t „
- VI 5+5 t „

ist für die am meisten in Betracht kommenden Transportgüter die Eingruppierung in die Tarifklasse angegeben

Vergleich der Transportkosten

In die graphischen Tariftabellen der Eisenbahn sind die Kurven der Transportkosten mit dem Kraftwagen eingetragen worden Der Vergleich dieser Kurven gibt ein anschauliches Bild über die Grenze der Wirtschaftlichkeit der beiden Transportmittel (Abb. 6). Infolge der Verschiedenheit der Eisenbahntarife bewegt sich auch die Wirtschaftlichkeit derselben in entsprechenden Grenzen.

Für die Güter der höheren Tarifklassen befindet sich diese Grenze in der Entfernung von einigen hundert Kilometern, wogegen die redu-

a) Kurven A—D beziehen sich auf den gemischten Transport.
1. je 5 km An- und Abtransport mit Krw.
2. Umladekosten auf den Stationen je $ 0,50/t

b) Kurven A—D beziehen sich auf den gemischten Transport
1. wie unter a
2. Umladekosten auf den Stationen je $ 0,50/t.

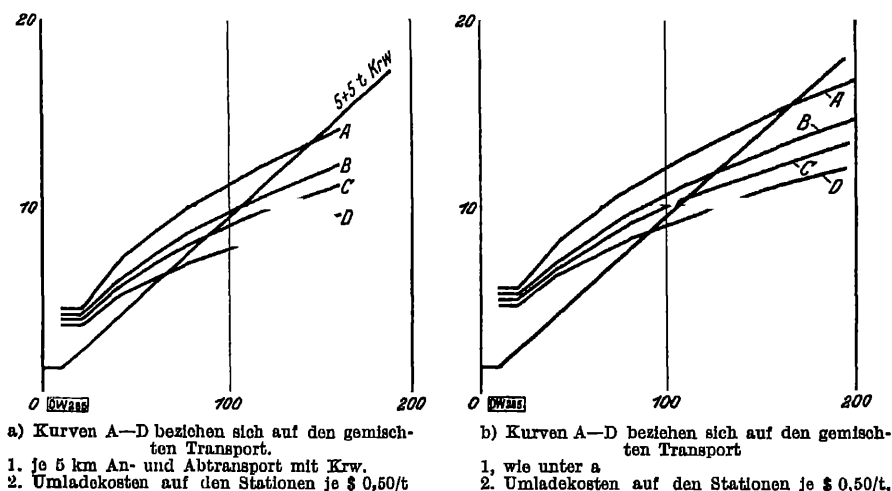



Abb. 6. Graphischer Vergleich der gemischten Transporte auf der F. C C. mit denjenigen der 5+5 t. Krw auf befestigten Straßen.

zierten Tarife die Konkurrenz des Kraftwagens schon auf sehr kurze Entfernungen aufnehmen können.

Bei der Betrachtung der Tabelle, welche die Eingruppierung der Güter in die Tarifklassen angibt, stellt man fest, daß die mit den Vorzugstarifen vermerkten Güter den größten Bestandteil des gesamten Gütertransportes ausmachen.

Aus diesem Grunde werden in der Folge die Untersuchungen der Wirtschaftlichkeit auf die Vorzugstarife beschränkt, da sich auch in diesem Bereich das Schwergewicht des Konkurrenzkampfes befindet. Die bisherigen Studien gingen immer von der Annahme aus, daß sowohl Eisenbahn wie Kraftwagen am Ausgangsort beladen und beide direkt nach der Bestimmungsstelle gefahren werden können Die Ergebnisse zeigen, daß in diesem Falle die Konkurrenzfähigkeit des Kraftwagens sehr gering ist, da er seine wesentlichsten Vorzüge, die größere Unabhängigkeit und Beweglichkeit, nicht zur Geltung bringen kann.

Gerade diese Umstände sind es aber, die noch bei der Beurteilung des Kraftwagentransportes erwogen werden müssen, wobei folgende Fälle zu unterscheiden sind:

1. Abkürzung des Weges,
2. gemischter Transport mit Eisenbahn und Kraftwagen,
3. raschere Zustellung.

Die Vergleichsberechnung bei Abkürzung des Weges kann mit Hilfe der Tabellen in einfacher Weise durchgeführt werden. Schwieriger ist der Einfluß des kombinierten Transportes zu ermitteln. Wohl am häufigsten sind die Fälle, in denen das Gut mit dem Kraftwagen nach der Güterabfertigungsstelle und von der Empfangsstation nach dem Bestimmungsort gefahren werden muß. Um zu zeigen, wie nachteilig der gemischte Transport und das Umladen sich auf die gesamten Beförderungskosten auswirken, sind mit der Tariftabelle der Ferrocarril Central Cordoba die eben erwähnten Studien gemacht worden. Es wurde von der Annahme ausgegangen, daß das Gut auf 5 km Entfernung nach der Station zu transportieren und wiederum 5 km vom Bestimmungsbahnhof nach der Ablieferungsstelle zu befördern ist. Um die Einflüsse des gemischten Transportes und des Umladens übersichtlich vorzuführen, sind in der Darstellung a der gemischte Transport und der Einfluß der Umladekosten von $\$^c/_l$ —,50 pro Tonne behandelt worden. Schon dabei zeigt es sich, daß die Wirtschaftlichkeit des Kraftwagens bedeutend erweitert wird. Legt man, wie in der Darstellung b, Umladekosten von $\$^c/_l$ 1,— pro Tonne zugrunde, dann ist noch deutlicher zu erkennen, daß unter Umständen der Kraftwagen auf sehr weite Entfernungen hin wirtschaftlich sein kann.

Aus diesen Studien ergibt sich nun als Schlußfolgerung, daß die Wirtschaftlichkeit des Kraftwagens sich in folgender Weise definieren läßt:

I. Bei direktem Eisenbahntransport vom Ausgangs- nach dem Bestimmungsort bewegt sich die Wirtschaftlichkeitsgrenze

a. für Güter der Klassen 1 bis 10 zwischen 50 und 200 km,

b. für Güter der reduzierten Klassen zwischen 20 und 50 km.

II. Bei einem durchschnittlichen An- und Abtransport von je 5 km mit dem Kraftwagen und bei $\$^c/_l$ —,50 pro Tonne Umladekosten bewegt sich die Wirtschaftlichkeitsgrenze des Kraftwagens für die Güter der reduzierten Tarife zwischen 60 und 150 km.

III. Unter denselben Bedingungen wie unter II., aber bei Umladekosten von $\$^c/_l$ 1,— pro Tonne, steigt die Grenze für die reduzierten Tarife auf 90 bis 170 km.

Summary

The present study deals with the competitive capacity of transportation by motor lorries and railways, and its main object lies in investigating the limits of revenue whereby these methods may maintain their economic superiority in the Argentine Republic.

Owing to the numerous variations of conditions in the Republic, this report is limited only to the plains, which embrace $^4/_5$ of the country in question.

In determining the costs of transportation, lorries of 1.5 t, 5 t and 5 t with trailer have been considered, and, in the calculations, earth roads and paved highways are taken into account. The results have been attained by the aid of graphic illustrations which shew the different costs of transportation per 1 t km over varying distances

The cost of railway transportation is shewn graphically, illustrating the various tariffs for different kinds of merchandise

The curves corresponding to motor lorry transportation have been shewn on these graphical figures, and the limit of revenue can be traced by a comparison of the different curves, on the hypothesis that both methods of transportation labour under similar conditions.

The article under consideration then deals with investigations on the influences which most affect the independence and mobility of the lorry.

It is especially endeavoured to ascertain the cost of combined transportation, that is to say, cartage to and from the station, and the moving of goods In these cases, the competitive capacity of the lorry increases considerably, as is demonstrated by the graphical illustrations.

The article is brought to a close with the summary, and the following is introduced to indicate the competitive aptitude of the lorry:

I. If no cartage is required in railway transportation, the lorry can compete·
   a with the 1—10 classes of tariffs, between 50 and 200 km,
   b. with the reduced tariffs, between 20 and 50 km.

II Considering cartage over a distance of 5 km, a lorry at both stations. and the cost of the moving of goods at the rate of $\$^{o}/_{1}$—,50/t in each case, the competing limit with the reduced classes lies between 60 and 150 km

III. Under conditions similar to those given in II. but with the unloading expenses fixed at $\$_{o}/_{1}$1,—/t, this limit is displaced to 90—170 km.

Finnland

Erfahrungen mit Kraftgas aus Holz für Automobile

Finnisches Nationalkomitee

Prof. H. Kyrklund

Seit dem Weltkriege hat man in denjenigen Landern, denen flussige Brennstoffe nicht zur Verfugung standen, nach der Lösung des Problems gesucht, wie der Automobilbetrieb im großen mit Hilfe von aus festen Brennstoffen gewonnenen Kraftgasen aufrechterhalten werden kann. Anfanglich versuchte man es mit Anthrazit und Koks, die bei stationaren Anlagen die kleinsten Schwierigkeiten bereitet hatten. Die Bestrebungen wurden jedoch erst dann erfolgreich, als in den Generatoren Holzkohle und später Holz zur Verwendung gelangten. Die Ursache hierfur durfte wohl in erster Linie darauf zuruckzufuhren sein, daß das schlechte Wärmeleitvermogen dieser Stoffe es ermöglicht, die durch den Verbrennungsprozeß erzeugte intensive Warme in einen begrenzten Reaktionsraum zu beschranken, so daß sie sich nicht in hoherem Maße zur gesamten Masse des Brennstoffes und des Generators verbreitet Dank dieses Umstandes konnte die Tragheit der Generatoren derart reduziert werden, daß dieselben in der Praxis vollkommen verwendbar geworden sind, wenn auch mit ihnen nicht dieselbe Anpassung wie beim Benzinbetriebe erreicht werden konnte

Ein anderer, wesentlicher Fortschritt bestand in der Einführung der invertierten, d h. nach unten gerichteten Verbrennung, ein Prinzip, welches seit jeher bei stationären Anlagen für stark bituminose Brennstoffe verwendet wurde. Die Konstruktionen sind jedoch für Automobile viel einfacher als bei den stationaren Apparaten. Bei der invertierten Verbrennung werden bekanntlich alle durch die Trockendestillation entstehenden Gase gezwungen, die weißgluhende Verbrennungszone zu passieren, wodurch die teerartigen Verunreinigungen zersetzt werden, so daß das zum Schluß erzeugte Gas an verunreinigenden Stoffen praktisch nur anorganische Asche enthalt und außerordentlich einfach zu reinigen ist. Eine Grundbedingung fur einen Automobilgenerator ist namlich, *daß er vollkommen reines Gas liefert, aber gleichzeitig aus möglichst wenigen, einfachen und betriebssicheren Elementen besteht.* Es ist auch gelungen, dieses zu erreichen gerade durch Einfuhrung der invertierenden Verbrennung, und *fast sämtliche Automobilgeneratoren sind nach diesem Prinzip gebaut.*

Die Betriebsverhältnisse bei ausgeführten Versuchen

Es gibt bereits eine ganze Reihe brauchbarer Automobilgeneratoren. Die meisten sind in Frankreich durchgebildet worden, wo dieser Frage sowohl von seiten der Erfinder, als auch der Automobilklubs und des Staates ein lebhaftes Interesse entgegengebracht wurde. Es ist jedoch nicht unsere Absicht, in diesem Zusammenhange auf eine nähere kritische Betrachtung der verschiedenen Typen einzugehen, sondern über einige praktische Versuchsresultate zu berichten, die mit Generatorbetrieb in Finnland erreicht wurden. Diese Resultate dürften ein allgemeineres Interesse haben der außerordentlich schwierigen Verhältnisse wegen, unter denen sie ausgeführt wurden.

Obwohl es in unserem Lande keine höheren Berge gibt, hat es trotzdem eines der am meisten kupierten Gelände Europas, und die vorkommenden Steigungen der Wege sind größer als die, mit denen man im allgemeinen zu rechnen pflegt. Die klimatischen Verhältnisse sind besonders ungünstig und die Beschaffenheit der Wege ist derartig, daß die Rollwiderstände viel größer werden als auf den normalen Fahrstraßen. Schließlich nimmt der hier erhältliche Brennstoff mehr Raum ein und ist feuchter als der in Mitteleuropa in Frage kommende. Alle diese Umstände tragen dazu bei, daß die Anforderungen, die man in Finnland gezwungenerweise an die Leistungsfähigkeit der Automobile stellen muß, wesentlich gesteigert werden. Mancher Vergaser, der vom Unterzeichneten geprüft wurde und auf mitteleuropäischen Landstraßen vollkommen befriedigend arbeitete, zeigte sich als vollständig ungenügend, als mit ihm später in Finnland Dauerversuche ausgeführt wurden, die deshalb als wirkliche Feuerproben zu bezeichnen sind

Über Vorzüge und Nachteile der aus Holz gewonnenen Gase

Obwohl auch eine große Anzahl Versuche mit Automobilen verschiedener Fabrikate, die mit Holzkohle betrieben wurden, ausgeführt worden sind, ist das Interesse bei uns nunmehr hauptsächlich auf den Holzgasbetrieb gerichtet. Da der Betrieb mit Holzkohle bedeutend geringere Schwierigkeiten hinsichtlich der Durchbildung der Vergaser und Reinigungsvorrichtungen bietet und die Holzkohlen außerdem ein einheitlicherer und gleichmäßigerer Brennstoff sind als das Holz und außerdem schon im voraus bearbeitet und praktisch genommen von Teer und teerhaltigen Bestandteilen befreit sind, so daß das erzeugte Gas besonders rein wird, wodurch der Apparat vereinfacht werden kann, so ist es einleuchtend, daß man anfangs den leichteren Weg betrat und auf die Schaffung eines betriebssicheren Holzkohlengasgenerators arbeitete. Erst später hat man versucht auch Holzgasgeneratoren zu bauen Dieses ist auch gelungen und die größten Schwierigkeiten bei den Holzgasbetrieben sind jetzt überwunden, und diese Betriebsart lenkt nun die Aufmerksamkeit immer mehr auf sich.

Die Ursachen, daß der Holzgasgenerator trotz der mit ihm verbundenen größeren technischen Schwierigkeiten das größere Interesse erworben hat, sind teils rein technischer, teils wirtschaftlicher und politischer Art

Rein technisch betrachtet liegt einer der Vorteile des Holzgases darin, daß es im Gegensatz zum Holzkohlengas einen großeren Prozentsatz Wasserstoff und vor allen Dingen einen nicht unwesentlichen Prozentsatz an Kohlenwasserstoff, in erster Linie Methan, enthalt. Das Holzkohlengas dagegen ist ein sog. „Luftgas" und enthält an brennbaren Bestandteilen fast ausschließlich CO und nur unbedeutend H_2 Bei zweckmäßig konstruierten und bedienten Holzgasgeneratoren konnte dieser Methanprozentsatz bis auf 8 % gesteigert werden. Eine Folge hiervon ist, daß das Holzgas eine erheblich großere Reaktionsfahigkeit und großeren Warmeinhalt aufweist als Holzkohlengas. Diese beiden Eigenschaften sind in bezug auf den Automobilbetrieb von allergroßter Bedeutung, denn eine der Hauptschwachen des Gasbetriebes ist die wesentliche Verminderung der Leistung eines Benzinmotors beim Umstellen des Betriebes auf Gas. Diese Leistungsverminderung kann nicht vollstandig durch Erhöhung der Kompressionsverhältnisse des Motors kompensiert werden.

Ein weiterer praktischer Vorteil, den das Holz bietet, ist die großere Sauberkeit beim Handhaben desselben.

Wirtschaftlich hat der Holzgasbetrieb den großen Vorteil, daß geeignetes Brennholz wenigstens in unserem Lande uberall und jederzeit in genügenden Mengen erhaltlich ist, während der Holzkohlenbetrieb erst die Aufarbeitung einer Kohlenindustrie voraussetzt, so daß Material immer bei Bedarf uberall im Lande erhaltlich ist. Auch der Kalorienpreis ist fur Holz etwas niedriger als fur Holzkohle, auch wenn in der Berechnung die Bearbeitungskosten des Holzes berucksichtigt sind.

Vom rein politischen Gesichtspunkt aus nimmt der Holzgasgenerator auch entschieden eine starkere Stellung ein, da durch ihn eine unmittelbare und effektive Abhilfe der Transportschwierigkeiten geschaffen wird beim Eintreten einer Brennstoffkrisis oder bei vollstandigem Benzinmangel, wahrend der Holzkohlengasgenerator erst dann in Frage kame, wenn die erforderlichen Holzkohlenlager errichtet worden sind, welches wiederum langwierige, vorbereitende Arbeiten voraussetzt und erhebliche Arbeitskrafte in Anspruch nimmt.

Verschiedene Vergaser, die geprüft wurden

In Finnland hat man das Augenmerk gegenwärtig auf drei verschiedene Vergasertypen gerichtet.

Der erste ist der bekannte Imbert-Generator, der schon früher ausfuhrlich in der Fachliteratur beschrieben worden ist und von dem der Vollstandigkeit halber eine schematische Skizze (Abb. 1) beigefugt ist. Das Typische fur diesen Generator ist die Ermangelung eines Rostes und des Isoliermaterials, infolgedessen der Generator leichter und mechanisch fester ausgefuhrt werden konnte, so daß er gut die beim Autobetrieb in Frage kommenden Erschutterungen und Stoße aushalten kann. Die inneren Teile sind nunmehr ganz aus indifferentem hochwertigem Cr-Ni-Stahl ausgefuhrt worden, damit sie den Beanspruchungen und Einflussen der im feuchten Holz enthaltenden atzenden und rostbildenden Sauren widerstehen konnen Da dieser Generator

schon seit einem Jahre von einer einheimischen Firma hergestellt wird, konnten recht eingehende Versuche mit ihnen durchgeführt und Betriebserfahrungen von einer großen Anzahl im praktischen Betriebe arbeitender Wagen gesammelt werden.

Eine andere Vergasertype, die ausprobiert wurde, ist von dem bekannten Pionier auf diesem Gebiete, Oberst J. D. Schmith konstruiert, und wird von The Compound Gas Power Co., Ltd., in Reading, England hergestellt. Aus der beigefügten schematischen Skizze (Abb. 2) ist die prinzipielle Ausführung des Vergasers ersichtlich. Bezeichnend für diesen Vergaser ist seine kompakte Durchbildung, wobei Kühler und Kammern zusammengebaut bzw. um den Brennstoffschacht zu einem

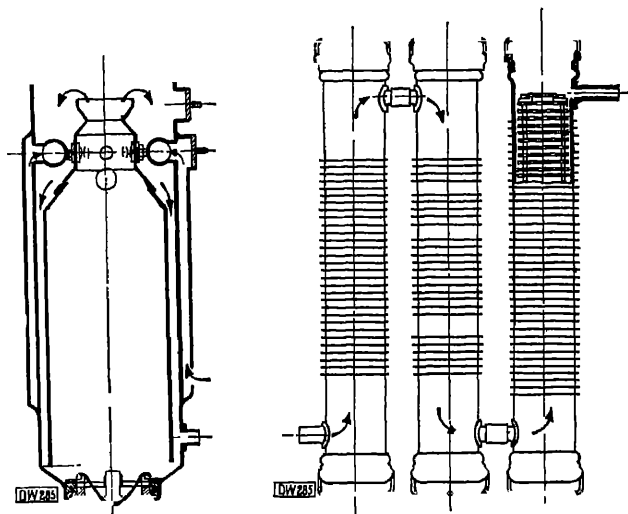



Abb. 1 Schematische Zeichnung eines Imbertgenerators.

einzigen Körper herumgebaut sind, sowie die eigenartige Durchbildung des Rostes. Dieser besteht nämlich aus einem aus indifferentem Stahl ausgeschmiedeten, leicht abnehmbarem Doppelkegel, der die Gase gegen seine glühenden Wände zwingt und dadurch jede Spur von Teerresten, die trotz der invertierten Verbrennung noch im Gase enthalten sein können, überhitzt, zersetzt und unschädlich macht. Das Prinzip der thermischen Reinigung des Gases ist hier bis aufs äußerste durchgeführt, und dürfte wohl keine andere Holzgasgeneratortype ein reineres Gas als diese liefern können.

Eine dritte Generatortype, auf die auch große Erwartungen gestellt werden, ist der Widegren-Generator, der von Svenska Fläktfabriken in Jönköping, Schweden, hergestellt wird. Im Gegensatz zu den vorhergehenden ist dieser innen mit einem feuerfesten Material isoliert, wobei besonderes Qualitätsmaterial mit außerordentlich hohen sowohl thermischen als auch mechanischen Eigenschaften zur Verwendung kam. Infolgedessen kann das Futter so dünnwandig genommen werden, daß

es das Gewicht nicht nennenswert erhoht, und ist zugleich so zäh, daß es nicht zufolge der beim Automobil unvermeidlichen Stoße und Erschütterungen zerstört wird. Die Verwendung der Isolation bringt wesentliche Vorteile mit sich: die inneren heißen Teile werden besser erhalten, der Prozeß kann bei etwas hoherer Temperatur durchgefuhrt werden, was zur Reinigung des Gases beiträgt und auch dessen Zusammensetzung verbessert. Der Widegren-Generator besitzt aber auch noch eine andere Finesse. Im Gegensatz zu den vorhergehenden hat dessen Schacht keinen kreisformigen, sondern einen rechteckigen Querschnitt mit Luftzuführungen an den Langsseiten, wodurch eine schmale, konzentrierte Verbrennungszone ermoglicht wird trotz Verwendung von groberem Brennstoff.

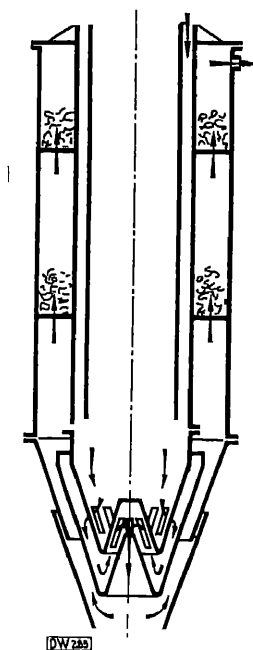



Abb. 2. Schematische Zeichnung eines Compound-Gasgenerators von Schmith.

Versuchsvorrichtungen und Prüffeldresultate

Prüfungen sind mit den Vergasern sowohl im Pruffeld als auch bei langerer Probefahrt in Kolonne ausgefuhrt worden, wobei außerdem eine Statistik uber deren Verhalten bei alltaglicher praktischer Arbeit aufgestellt wurde

Zwecks Vermeidung eines Einflusses evtl. vorkommender Motordefekte auf die Beurteilung der Generatoren wurde bei den Prüffeldversuchen ein vorher unbenutzter, 4zylindriger Chevrolet-Motor benutzt. Dieser

wurde zunachst einige Zeit im Prüffeld mit Benzin und allmählich gesteigerter Belastung betrieben, bis er als vollkommen eingelaufen betrachtet werden konnte, worauf die eigentliche Prufung erfolgte.

Die Abmessungen des Motors sind folgende:

Hub $S = 102$ mm
Durchmesser $D = 94$ mm
Kompressionsverhaltnis $\Sigma = 4{,}64$.

Der Motor wurde mittels elektrischer Pendelbremse abgebremst. Die Umdrehungszahl wurde mittels Tachometer und eines mittels Drehungsdrahtes angeschlossenen Tourenzählers gemessen. Damit der Gasgenerator Erschutterungen, wie sie beim Automobilbetrieb in der Praxis vorkommen, ausgesetzt sein würde, wurde derselbe auf ein federnd

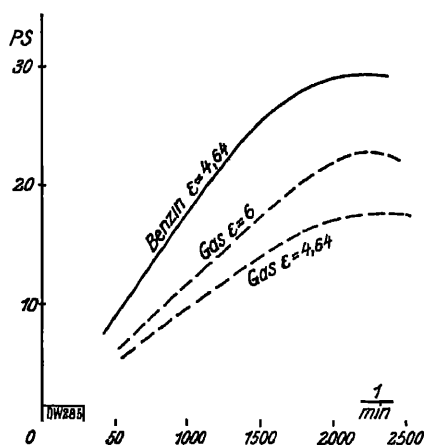



Abb. 3 Leistungsverminderung bei Gasbetrieb

angeordnetes Gestell montiert und wahrend samtlichen Versuchen von Zeit zu Zeit geschüttelt.

Zunachst wurde der Benzinvergaser eingestellt, wonach der Motor mit ungedrosselter Klappe bei verschiedenen Umlaufszahlen abgebremst wurde Die erhaltene Kurve ist in Abb. 3 zum Vergleich mit den bei Generatorgasbetrieb erhaltenen Leistungskurven beigefugt Von den zuletzt erwahnten entspricht die niedriger gelegene Kurve dem Betrieb mit unverandertem Kompressionsverhaltnis, während die obere dem Betriebe mit auf 6,1 gesteigertem Kompressionsverhaltnis entspricht.

Die aufgezeichneten Kurven sind mit dem Imbert-Vergaser und Abfall von einer Zwirnrollenfabrik erhalten Der Feuchtigkeitsgrad des Brennstoffes betrug $w = 19{,}2\,\%$ und der Heizwert wurde nach einer von Svenska Ingeniors-Akademien aufgestellten empirischen Formel zu

$$H_n = 4590 - 51{,}9\,w = 3590 \text{ cal/kg}$$

errechnet.

Es wurden auch Versuche mit bedeutend feuchterem Holz vorgenommen, wobei der Motor auch befriedigend arbeitete. Dieses war

auch der Fall bei Verwendung von Holz, das noch getrocknet wurde, so daß der Feuchtigkeitsgrad bis auf 15 % herunterging.

Aus den in Abb. 3 aufgezeichneten Kurven geht die recht erhebliche Leistungsverminderung des Motors hervor, wenn er mit Gas anstatt mit Benzin betrieben wird, und die Notwendigkeit der Kompressionserhöhung, um annähernd eine befriedigende Motorleistung zu erreichen

Der Brennstoffverbrauch bei den Prüffeldversuchen wurde bei verschiedenen Belastungen und Umdrehungszahlen gemessen. Bei ungedrosselter Klappe stieg jener zu 1,4 bis 1,5 kg/PSh. Da der Benzinverbrauch des Motors, wahrscheinlich wegen weniger gelungener Zündvorrichtungen, recht bedeutend war, d. h. 293 bis 300 g/PSh, entspricht

$$1 \text{ kg Holz } \frac{293}{1{,}4} \cong 210 \text{ g Benzin}$$

In der Regel werden Benzin und Holz nach Raummassen verkauft. Unter Berücksichtigung des spezifischen Gewichtes von Benzin, welches im vorliegenden Falle 0,725 g/l betrug, und des Volumengewichtes von Klafterholz mit in Frage kommendem Feuchtigkeitsgehalt, welches zu 386 kg/m³ (lose gemessen) geschätzt werden kann, ergibt sich, daß 1 m³ Holz 112 l Benzin entspricht

Die in der Praxis beim Fahren gemessenen Verbrauchsziffern sind für Holz etwas günstiger, was darauf zurückzuführen sein dürfte, daß der Generator beim Fahren kräftiger geschüttelt wurde. Hierdurch wird die Kavitätsbildung im Verbrennungsschacht besser vermieden und eine gleichmäßigere Belastung ermöglicht.

Es scheint auch, als ob die Leistungsverminderung beim Übergang zu Holzgas im praktischen Betriebe weniger unvorteilhaft wäre als bei den Prüffeldversuchen, was wahrscheinlich auch auf das intensivere Schütteln zurückzuführen ist.

Anwurfversuche

Während bei früheren Konstruktionen für das Anwerfen des Motors in kaltem Zustande eine erhebliche Zeit beansprucht wurde, wodurch die Verwendbarkeit desselben bedeutend herabgesetzt wurde, scheint dieser Übelstand gegenwärtig zum großen Teil überwunden Von den von uns geprüften Vergasern scheint der Anwurf mit dem Imbert-Generator am raschesten zu erfolgen In der Regel springt der Motor schon an 3 bis 5 min. nachdem der Handventilator in Betrieb gesetzt worden ist. Länger als 8 min dauerte der Anwurf im kalten Zustand nie, vorausgesetzt, daß der Motor und der Gasgenerator im übrigen intakt waren

Etwas langsamer als beim vorhergehenden war der Anwurf mit dem Schmithschen Vergaser, obwohl auch dieser ohne Isolationsmaterial ist und deshalb eine recht kleine Wärmekapazität hat Die Ursache dazu dürfte darin zu suchen sein, daß beim Schmithschen Generator der Anwurf mit natürlichem Zug und nicht mittels eines Ventilators erfolgt. Da dieser Generator ursprünglich zum Gebrauch in den Kolonien und für ganz primitive Bedienungsmannschaft beabsichtigt war, sind alle

überflüssigen Mechanismen fortgelassen, so daß die Störungsmöglichkeiten aufs äußerste reduziert sind.

Der Anwurf mit dem Widegren-Generator erfolgt auch mittels eines Handventilators, aber etwas langsamer als beim Imbert-Generator.

Bei allen Generatortypen konnte der Anwurf, falls der Generator früher erhitzt gewesen war und nur $^1/_2$ bis 1 h gestanden hatte, bedeutend rascher oder nach nur 1 bis 2 min Ventilation erfolgen. Falls der Motor nur einige Minuten gestanden hatte, konnte der Anwurf mit Gas unmittelbar erfolgen ohne vorhergehende Ventilation.

Betriebsstörungen

Verwendung von feuchtem Brennstoff

Während ältere Generatoren bei Probebetrieb in Finnland nur mit besonders trockenem Holz befriedigend arbeiten, scheint bei den modernen Typen dieser Übelstand praktisch beseitigt zu sein. Sowohl bei den Prüffeldversuchen als auch bei den Fahrversuchen in der Praxis wurde kräftiges und einigermaßen reines Gas mit ganz gewöhnlichem, luftgetrocknetem Holz erreicht, wie es im Herbst und Winter aus Holzschuppen erhalten wurde, wobei der Feuchtigkeitsgehalt zwischen 20 und 30 % schwankte. Holz, das früher gelagert, aber seit einiger Zeit (einige Tage) draußen im Regen gestanden hatte, ergab auch noch ein vollständig befriedigendes Resultat. Sogar in solchen Fällen, wo man bei langwierigen Versuchen auf Landstraßen gezwungen war, den Vergaser zufälligerweise mit ganz nassem Brennholz zu speisen, konnte man sich, ohne daß Rohrleitungen und Motor verunreinigt und verpicht geworden waren, derart behelfen, daß der Generator eine Zeitlang, nachdem der frische (nasse) Brennstoff nachgefüllt worden war, so betrieben wurde, daß die Fülluke mehr oder weniger geöffnet war und ein Teil der Feuchtigkeit des Brennstoffes diesen Weg entweichen konnte.

Explosionen in den Saugleitungen

Eine andere Störung, die einige Male bei praktischen Probefahrten mit dem Imbert-Vergaser und häufig beim Prüffeldbetrieb vorkam, bestand in Vorzündung der Gase schon in der Zuleitung. Nach allem zu urteilen ist dieses auf Kavitätsbildung in der Verbrennungszone des Vergasers zurückzuführen, wobei eine temporäre Verschlechterung des Gases eintritt, so daß die Verbrennung im Motor langsam stattfindet und noch nicht beendet ist, wenn die neue Füllung eingesogen wird. Im praktischen Betriebe konnten derartige Störungen auftreten, wenn z. B. das Automobil nach länger andauernder Fahrt auf ganz flachem Wege voll belastet wurde, indem es länger bergauf fuhr. Im Prüffeld traten diese Rückexplosionen in erster Linie bei länger andauernden Überlastungen auf.

Falls das Luftventil des Mischers unmittelbar gedrosselt wurde, so daß das Gemisch kräftiger wurde, oder wenn die Zündung verändert wurde, hat die Störung sofort aufgehört. Konnten diese Maßnahmen nicht unmittelbar getroffen werden, sank die Umdrehungszahl des

Motors rasch und es konnte sogar eintreffen, daß er stehen blieb. Da bei den Prüffeldversuchen ein ausgeprägter Automobilvergaser mit stark eingeschnürter Verbrennungszone verwendet wurde, dürfte die Erklärung dazu, daß Kavitäten bei langer andauernder Überlastung auftreten, darin zu suchen sein, daß die Erschütterungen des Generators, die von der Hand erzeugt wurden, die bedeutend kräftigeren Erschütterungen des Automobils nicht vollkommen ersetzen konnten.

Bei einer mit geräumigerem Verbrennungsschacht versehenen Vergasertype, welche später mit Erfolg für Marine- und stationäre Zwecke ausprobiert wurde, waren diese Störungen wahrscheinlich vollständig ausgeblieben, und dazu wäre eine etwas höhere Höchstleistung wahrscheinlich erzielt worden. Da sich jedoch ein derartiger Vergaser nicht für den Automobilbetrieb mit dessen besonders niedrigem Belastungsfaktor eignet, wurde es als zweckmäßiger erachtet, die Prüffeldversuche mit einem ausgeprägten Automobilvergaser durchzuführen. Daß derartige Vorexplosionen im praktischen Automobilbetriebe nur ausnahmsweise vorkommen, dürfte offenbar außer auf die intensiven Erschütterungen, die speziell bei Vollast besonders effektiv werden, auch auf den Umstand zurückzuführen sein, daß der Automobilmotor nur äußerst selten eine längere Zeit ununterbrochen mit der höchsten Leistung arbeitet.

Stückgröße des Brennstoffes

Ein Übelstand, womit die früheren Vergaser behaftet waren, bestand darin, daß sie nicht störungsfrei gröberes Holz zu verarbeiten vermochten. In der Regel mußte das Holz in ganz kurze Stücke ($l \leqq 6$ cm) zerkleinert werden, wobei der Querschnitt nur ungefähr 4×4 cm^2 betragen darf. Bei Versuchen mit gröberem Holz oder längeren Kloben entstanden leicht Wölbungen und dadurch Betriebsstörungen. Bei den neueren Imbert-Vergasern ist dank der Erwärmung des Schachtes die Neigung zur Wölbungsbildung reduziert, so daß Holzkloben von 12 bis 15 cm Länge und $\backsim 5 \times 5$ cm^2 Querschnitt ohne Störungen verwendet werden. Versuche sind auch mit noch gröberen und längeren Kloben (25 bis 30 cm) ausgeführt worden, aber das Resultat ist hierbei, obwohl der Betrieb mit Vergasern der Marinetype aufrechterhalten werden konnte, nicht so befriedigend, wie bei Verwendung von dünnerem und kürzerem Holz.

Beim Widegren-Vergaser konnten auch, dank des ovalen Verbrennungsraumes, recht lange Kloben verwendet werden; doch dürfte wohl bei diesem wie auch beim Schmith-Vergaser trotz seines rein zylindrischen Schachtes Vorsicht bei der Verwendung von übertrieben langem und grobem Holz geboten sein.

In der Regel scheinen bei Verwendung von Rundholz aus Zweigen und Knorren etwas gröbere Abmessungen als bei gespaltenem Holz statthaft zu sein.

Dicke der Kohlenschicht

Der neue Imbert-Vergaser arbeitet ohne Rost, was in bezug auf Einfachheit und Haltbarkeit ein Vorzug ist. Dieser Umstand hat aber

auch in manchen Fallen in der Praxis Anlaß zu Betriebsstörungen gegeben. Damit eine gleichmaßige Gasströmung und ein befriedigender Reduktionsprozeß stattfinden soll, ist es bei dieser Type unbedingt notwendig, daß die Kohlenschicht um den Reduktionsschacht einigermaßen horizontal und genugend hoch ist. Ist die Schicht schrag, so stromt das Gas großtenteils aus an der Stelle, wo der Widerstand am geringsten ist, und der reduzierende Einfluß der Kohle bleibt mehr oder weniger unvollstandig. Ist die Schicht zu niedrig, so wird das Gas auch unvollstandig reduziert, aber dieser Übelstand verschwindet automatisch nach einiger Zeit im Betriebe, wenn die Kohlenschicht sich von selbst auf die richtige Höhe eingestellt hat und diese beibehalt. Es ist erforderlich, auf diese Empfindlichkeit des rostlosen Generators aufmerksam zu machen, weil dieser manchem Gasverbraucher der Praxis Kopfzerbrechen bereitet hat. So ist es z. B. vorgekommen, daß infolge einer zufalligen geneigten Lage des Automobils auf schlechten Wegen, beim Vorbeifahren eines begegnenden Wagens, wobei der Weg nachgab od. dgl., die Kohlenschicht schräg und das Gas für eine längere Zeit verdorben wurde, bis der Führer zufallig den Fehler entdeckte. Hat das Gas die Tendenz, längere Zeit schwach zu bleiben, sind die zuerst zu ergreifenden Maßnahmen Kontrolle der Hohe der Kohlen- bzw. Aschenschichten. Aus demselben Grunde ist es unbedingt erforderlich, daß morgens vor Beginn des Anwurfes diese Kontrolle vorgenommen und die Schlacke mit einem Schurhaken aufgelockert wird, damit der Anwurf des kalten Motors nach nur einigen Minuten Ventilation gelingen soll.

Ein anderer schlagender Beweis fur die Bedeutung der Reduktionskohlenschicht für die Betriebssicherheit wurde bei einer Probefahrt Wiborg—Helsingfors erhalten. Bei der Abfahrt aus Wiborg wurde der Generator mit Nadelholz gefüllt. Der Anwurf erfolgte in normaler Weise und der Generator funktionierte befriedigend. Nach etwa 200 km Fahrt wurde der Generator mit Birkenholz gefüllt. Die frühere Nadelholzfullung war bereits größtenteils verbraucht. Auch jetzt arbeitete der Generator anfangs gut, aber plotzlich fing er ohne ersichtlichen Grund an, Schwierigkeiten zu machen, das Gas wurde schlechter und die Motorleistung vollstandig ungenügend. Irgendwelche Fehler am Motor, Generator oder an der Reinigungsvorrichtung konnten jedoch nicht entdeckt werden. Das Gas verblieb noch wahrend einiger Kilometer schwach, wonach es allmählich besser und schließlich wieder vollkommen befriedigend wurde. Die einzige Erklärung dieser Erscheinung scheint uns der zu rasche Verbrauch der Nadelholzkohlen im Verhaltnis zur Neubildung durch Verkohlung des Birkenholzes zu sein, wodurch die Reduktionsschicht vorubergehend zu dunn und das Gas infolgedessen ungenugend reduziert wurde

Gefahr des Gefrierens

In einem Lande, das wie Finnland zwischen dem 60. und 70 Breitengrad liegt, spielt die Gefahr des Gefrierens selbstverstandlich eine ganz andere Rolle als auf niedrigeren Breitengraden. Es haben sich auch

einige Schwierigkeiten dadurch ergeben, daß das in den Reinigungsvorrichtungen kondensierte Wasser gefroren ist. An den ursprünglichen Imbert-Reinigern waren Wasserverschlusse angebracht, aber es stellte sich heraus, daß diese bei Fahrt in starkem Sturm oder bei Kalte im Winter vollkommen ungenugend waren und ganz zufroren. Da außerdem die Kühler für ein warmeres Klima ausgebildet waren, wurden sie viel zu kuhl, so daß das ganze System dem Gefrieren nahe war. Um dieses zu verhüten, mußten die Reinigungsvorrichtungen, um zur Winterzeit benutzt werden zu können, mit kleineren Kuhlflachen versehen und in passender Weise abgeschirmt werden sowie bei eintretender scharfer Kalte wahrend der Fahrt mit Sacken, Decken oder sonst irgendwie isoliert werden. Ferner muß das durch Kondensieren sich ansammelnde Wasser stets abgezapft werden, bevor es sich in großeren Mengen anhäufen kann. In dieser Weise ist es gelungen, den Betrieb auch bei ungünstiger Witterung aufrechtzuerhalten.

Feuchtigkeitsgrad des Gases

Die im Gase enthaltene Feuchtigkeit bringt aber auch andere Nachteile, als die oben erwahnten mit sich. Unter anderem gestattet sie nicht, die Reinigung des Gases mittels Filtern aus Tuch, welches sonst eine der wirksamsten und einfachsten Arten ware, das Gas auch von feineren mechanischen Verunreinigungen zu befreien. Bei sehr feuchtem Gas wird das Tuch nämlich ganz naß, wodurch es dem Gas einen erhohten Widerstand bietet und in kurzer Zeit fault. Sogar bei Apparaten, die mit Holzkohle betrieben wurden und die anderweitig mit Tuchfiltern versehen befriedigend funktionierten, hat es sich gezeigt, daß die hier im Lande erhaltliche feuchte Holzkohle und die niedrigen Temperaturen im Winter große Schwierigkeiten bereiten. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, mittels geeigneter Vorrichtungen den Gasstrom zu trocknen, aber diese ergaben alle viel zu komplizierte Apparate, die sich fur den Automobilbetrieb nicht eignen. Vorlaufig scheint man sich deshalb bei uns mit den einfachen und robusten Reinigungsapparaten begnügen zu mussen, die durch Leiten des Gases gegen Prallplatten oder durch Sieben mittels Drehspanen u. dgl. erhalten werden. Wenn auch das Gas mit solchen Reinigern nicht vollkommen rein wird, scheinen die darin enthaltenen unbedeutenden mechanischen Verunreinigungen nach den bis jetzt gewonnenen Erfahrungen keine ernsthafteren Nachteile fur die Dauerhaftigkeit und Betriebssicherheit der Motoren mit sich zu bringen

Beim Schmithschen Vergaser sind sowohl die Gefriergefahr als samtliche von der Kondensation herruhrenden direkten Mangel in radikaler Weise vermieden, indem das Gas dem Generator in so heißem Zustand entnommen wird, daß darin enthaltener Wasserdampf uberhaupt nicht kondensiert wird. Obwohl ein derartiges Verfahren bei Verwendung trockenerer Brennstoffe vollkommen angebracht sein kann, erscheint es uns weniger gelungen für feuchtere Brennstoffe, die 30 bis 40 % Wasser enthalten, weil die Ladung des Motors und der Heizwert des Gases wegen des bedeutenden Partialdruckes des im Gase enthaltenen

Wasserdampfes erheblich abnehmen. Da der Leistungsverlust beim Übergang von Benzin auf Gas schon mit entwassertem Gas erschreckend ist, wird er durch ein solches Verfahren noch vergroßert.

Verunreinigung des Motors.

Alle alteren Vergasertypen für Holz und für bituminose Brennstoffe im allgemeinen waren mit dem Kardinalfehler behaftet, daß sie eine Verunreinigung des Motors und der Rohrleitungen durch teer- und pechartige Stoffe verursachten. Dieser Fehler scheint bei den modernen invertierten Generatoren praktisch genommen beseitigt zu sein.

Besonders vorteilhaft verhalt sich in dieser Beziehung der Schmithsche Vergaser, bei dem das Gas ja sozusagen einer doppelten Reinigung unterworfen ist, zuerst in der glühenden Kohlenschicht und darauf in dem stark erhitzten Doppeltrichter aus indifferentem Stahl. Bei der Untersuchung eines Automobilmotors, der längere Zeit (∾ 9000 km) mit einem solchen Vergaser gearbeitet hatte, wurde festgestellt, daß samtliche inneren Teile sich in vollkommen befriedigendem Zustand befanden, wenn sie auch mit einer ganz dunnen Schicht eines graubraunen. anorganischen Stoffes überzogen waren, jedoch ohne Kruste und pechartigem Belag Auch in den Reinigern (Drehspänen) konnte kein Vorhandensein von Teer, sondern nur eine unbedeutende Menge eines trockenen graphitartigen Stoffes festgestellt werden. Bei diesem Generator scheint der Übelstand der Teerbildung endgültig beseitigt zu sein.

Es hat sich auch gezeigt, daß der Imbert-Vergaser in dieser Beziehung den auf ihn gestellten berechtigten Ansprüchen genugt, obwohl das erzeugte Gas nicht so ganz rein ist wie das vom Schmith-Generator erhaltene, d. h. bei Vollast und bei Dauerbetrieb mit maßiger Belastung scheint das Gas vollstandig gereinigt zu werden, bei lange anhaltender Teilbelastung und Leerlauf sowie bei häufigen Betriebsunterbrechungen, wie sie z. B. beim Verkehr in Stadten vorkommen, scheinen unbedeutende Mengen Teer der Zersetzung zu entgehen. Diese Mengen sind jedoch so gering, daß sie keinen Anlaß zu Störungen gegeben haben. Beim Öffnen eines Versuchsmotors, mit dem eine große Anzahl Prüffeldversuche und mehrere lange Landstraßenversuche ausgeführt worden waren und der außerdem in einem Lastwagen eingebaut monatelang im taglichen Verkehr arbeitete, wobei die gesamte Betriebsdauer einer Strecke von ca. 6000 km entspricht, zeigte es sich, daß die inneren Teile des Motors ebenso rein waren, als ob der Motor die gleiche Zeit mit Benzin betrieben worden ware. Im Einlaßrohr wurden jedoch bedeutende Anhäufungen einer halbfesten, kienrußartigen, nach Birkenrindenol riechende Masse vorgefunden. Eine Analyse zeigte, daß sie folgende Bestandteile enthielt.

Sich leicht verflüchtigende Bestandteile, Wasser usw.	35,0 %
Teer- und pechartige Stoffe	27,2 %
Kohle	30,3 %
Asche	7,5 %
	100,0 %

Der Säuregehalt entsprach 0,78 % Essigsäure.

Nach allem zu urteilen ist diese Lagerung nur in der Zeit entstanden, als der Motor teilweise belastet war oder leer lief, d. h. als der Generator kühler war. Da auch die Ladung unter diesen Umständen eine niedrigere Temperatur hat und die Strömungsgeschwindigkeiten außerdem ganz gering sind, kondensieren und scheiden aus der Gasmischung höhere Kohlenwasserstoffverbindungen und ganz feine feste Körperchen aus, die durch den Reiniger durchgegangen sind. Die Anhaufung scheint nicht über ein gewisses Maß anzuwachsen, welches darauf hindeutet, daß sie in erster Linie auf die niedrige Geschwindigkeit des Gasstromes zurückzuführen ist. Diese Verunreinigungen scheinen, wenn auch ein gewisser Prozentsatz teerhaltiger Bestandteile in ihnen nachgewiesen werden kann, jedoch keinen storenden Einfluß auf den Betrieb des Motors gehabt zu haben. So hatte z. B. die untersuchte Maschine noch eine längere Zeit laufen konnen, ohne daß eine Reinigung des Einlaßrohres und Verbrennungsraumes erforderlich gewesen ware.

Essigsäuregehalt des Gases

Die Bildung von Essigsäure verursachte bei fruheren stationaren Holzvergasern sehr große Schwierigkeiten. Traurige Erfahrungen wurden während des Krieges besonders in unserem Lande gemacht, denn eine große Anzahl Dieselmotoren mußten wegen Mangel an Rohöl für Holzgasbetrieb umgebaut werden, und die im Gase vorhandene Essigsäure verursachte andauernd Storungen, wobei Rohrkrummer des Reinigungssystems u. dgl. schon nach einigen Wochen ersetzt werden mußten. Die Techniker unseres Landes haben deshalb den Holzgasbetrieb von Anfang an mit Mißtrauen betrachtet. Unseres Erachtens ist dieses Mißtrauen jedoch nunmehr unbegrundet, nachdem die invertierte Verbrennung eingefuhrt wurde Die bei der Trockendestillation des Holzes entstehende Essigsaure zerfallt namlich, wenn sie bis 600° C erhitzt wird, und da die entwickelten Destillationsgase zwangslaufig durch die noch bedeutend heißeren Verbrennungs- und Reduktionszonen des Vergasers getrieben werden, ist diese Zersetzung der Essigsaure quantitativ vollständig. Zahlreiche Analysen des aus dem Reiniger des Imbert-Vergasers abgezapften Wassers haben erwiesen, daß es säurefrei ist Daß unter gewissen ungünstigen Bedingungen, wie z. B. andauerndem Leerlauf und haufigen Betriebsunterbrechungen, eine unbedeutende Menge der Säure durch die gluhende Zone kommen kann, geht aus der Analyse der im Zuleitungsrohr gebildeten Lagerungen hervor, die tatsachlich einen Säuregehalt von 0,78 % aufweist, als Essigsaure berechnet. Ein schadlicher, atzender Einfluß auf die inneren Teile des Motors bzw. Reinigers konnte jedoch nicht festgestellt werden. Es sind in dieser Beziehung auch keine Beanstandungen von seiten der zahlreichen Automobilbesitzer, die schon längere Zeit derartige Vergaser benutzt haben, gemacht worden.

Beim Schmithschen Vergaser bietet die doppelte Reinigung eine Garantie dafur, daß auch bei teilweiser Belastung eine vollstandige Zersetzung der Essigsäure stattfindet. Auch beim Widegren-Vergaser

scheint die Moglichkeit, den Prozeß bei hoher Temperatur zu betreiben und diese Temperatur bei langer andauernder Teilbelastung und Leerlauf beizubehalten, die Lieferung eines neutralen Gases zu sichern. Vorläufig sind bei uns noch nicht genügend ausgedehnte Versuche ausgeführt worden, daß der endgültige Nachweis hierfür erbracht wäre.

Praktische Versuche auf der Landstraße

Früher wurde angedeutet, daß der im Kraftwagen eingebaute Generator etwas günstiger zu arbeiten scheint als beim Probebetrieb im Prüffeld, so daß die Leistungsverminderung beim Übergang von Benzin auf Gasbetrieb nicht ganz so bedeutend sein dürfte, wie die früher beigefügten Kurven uber die Abbremsversuche erscheinen lassen. Dessenungeachtet ist diese Leistungsverminderung einer der bedeutendsten Mängel des Holzgasbetriebes. Auf ebenem, gutem Wege kommt dieser nicht so zum Ausdruck und der mit Holzgas getriebene, vollbelastete Kraftwagen scheint mit vollkommen der gleichen Geschwindigkeit arbeiten zu können wie bei Benzinbetrieb. Die Leistungsverminderung macht sich jedoch nachteilig bemerkbar, sobald es sich um Überwindung von Steigungen und Befahren von schlechten Wegen handelt. Infolgedessen haben sich auch ein Teil der Gasautomobile als unbrauchbar erwiesen, obwohl sie in befriedigender Weise an offiziellen mitteleuropaischen Probefahrten teilgenommen haben. Jedenfalls ist man gezwungen, viel früher als beim Benzinbetrieb eine großere Übersetzung einzuschalten, welches bedeutet, daß die Fahrgeschwindigkeit im hügeligen Gelande geringer ist. Das Automobil kann sich aber auch im praktischen Betriebe als fur Gas unbrauchbar erweisen, wenn erstens der Motor nicht reichlich genug bemessen ist und zweitens die erste Übersetzung nicht so groß ist, daß auch die größten vorkommenden Steigungen mit Gasbetrieb genommen werden konnen.

Der Holzgasbetrieb hat noch einen anderen unangenehmen Mangel, namlich seine Tragheit. Obwohl moderne Holzvergaser in dieser Beziehung wesentlich verbessert worden sind, konnen sie doch nicht das Anpassungsvermögen moderner Benzinvergaser aufweisen.

Ein Automobil mit Gasbetrieb muß deshalb in ganz besonderer Weise geführt werden. Die Umlaufszahl des Motors muß namlich immer möglichst hoch gehalten werden. Aus diesem Grunde sind die Vorrichtungen beim Motor so zu treffen, daß die Umdrehungszahl bei Leerlauf hoher ist als beim Benzinbetrieb und daß das Umschalten der Übersetzung beizeiten erfolgt. Wenn moglich muß man es vermeiden, daß der Wagen langer bergab rollt, besonders wenn darauf eine schwierigere Steigung folgt. Während des Herabrollens arbeitet der Vergaser nur mit schwacher Verbrennung, so daß die Temperatur der Reaktionszone sinkt. Beim Einschalten des Motors saugt er aus dem Vergaser zunächst in erster Linie Entgasungsprodukte, welche wahrend der Stagnationszeit entstanden sind. Da dieses Gas großen Warmeinhalt besitzt, springt die Maschine gut an, aber nach kurzer Zeit geht die Leistung des Motors zuruck, nachdem das kräftige Destillationsgas verbraucht worden ist und die neu eingezogene Luft großtenteils in CO_2

übergeht, ohne oder nur unvollstandig zu CO reduziert zu werden, weil dieser Reduktionsprozeß eine hohe Temperatur verlangt und die Temperatur der Reaktionsschicht wahrend der Stagnationszeit gesunken ist.

Brennstoffwirtschaft

Früher wurde angegeben, daß bei den Prüffeldversuchen ein Holzaufwand von 1,4 kg und Benzinverbrauch von 293 g/PSh erreicht wurden. 1 kg Holz entsprachen also 210 g Benzin. Die Verhaltnisse scheinen beim praktischen Straßenbetrieb etwas günstiger zu liegen, indem der Holzverbrauch je 100 km auf 56 bis 58 kg stieg, wahrend der entsprechende Benzinverbrauch 13 kg betrug, woraus sich ergibt, daß 228 g Benzin 1 kg Holz entsprechen.

Unter Berücksichtigung der fruher angegebenen Volumengewichte fur Holz und Benzin ergibt sich, daß beim Fahren in der Praxis 1 m³ Birkenholz 122 l Benzin entsprechen. Werden die ortlichen Preisverhaltnisse berücksichtigt, kann die Ersparnis an Brennstoffunkosten bei Übergang auf Holzgasbetrieb leicht errechnet werden. Bei den bei uns in Finnland herrschenden Verhaltnissen wird diese Ersparnis außerordentlich bedeutend und betragt 80 bis 90 vH der Benzinkosten.

Bei einer Rentabilitatsberechnung ist jedoch zu berücksichtigen, daß die tatsachliche Ersparnis nicht identisch mit der Ersparnis an Brennstoffunkosten ist.

Erstens ist, wie aus Vorgesagtem hervorgeht, die Durchschnittsgeschwindigkeit des gasgetriebenen Kraftwagens im unebenen Gelande und bei schlechter Bahn etwas niedriger, als wenn er mit Benzin betrieben wird. Zweitens ist zu beachten, daß die zulässige Nutzlast des Wagens durch das Gewicht des Vergasers, der Reiniger und des Reservebrennstoffes etwas reduziert wird Bei kleinen Automobilen kann diese Reduktion bis 10 bis 15 % der sonst gestatteten Höchstbelastung betragen Da die ubrigen Unkosten fur Abnutzung, Reparaturen, Gummireifen sowie Zinsen und Abschreibungen gar nicht abnehmen, wird deren Einfluß auf die Endunkosten je Nettotonne und Kilometer großer als beim Benzinbetrieb.

Schließlich wird die Kalkulation noch von den Anschaffungskosten der Generatorenanlage beeinflußt. Hierin liegt unseres Erachtens des Pudels Kern. Soll der Gasbetrieb eine großere Bedeutung erlangen, muß er unbedingt wirtschaftlich sein und in erster Linie bei kleinen Lastwagen, aber gerade bei diesen steigen die Zinsen und Abschreibungen der Generatoranlage zu verhaltnismäßig hohen Betragen. Diese Frage ist vor allen Dingen abhangig von der Lebensdauer des Generators, d. h. von der Abschreibungszeit. Vorlaufig erscheint uns diese Frage noch recht ungeklart. Die bei uns gewonnenen Erfahrungen mit etwa einem halben Hundert Imbert-Vergasern sind nicht ausschließlich gunstig. In manchen Fallen sind die inneren Teile schon nach 8000 bis 10000 km Betrieb kaputtgebrannt. Diese Lebensdauer ware viel zu kurz, um Ersparnisse durch Übergang zum Gasbetrieb zu ermöglichen. Glucklicherweise sind berechtigte Hoffnungen vorhanden, die Haltbarkeit der Generatoren wesentlich steigern zu konnen. Nach-

dem nun die Fabrikation in Finnland von einer großeren und starkeren Firma ubernommen wurde, sind die Konstruktionen und Materialien einer grundlichen Revision unterzogen worden. Nachdem bei den früheren Generatoren die inneren Teile auf Kruppstahl V2A in 1 mm Stärke ausgefuhrt wurden, sollen sie jetzt aus 2 mm starkem V4A-Stahlblech, welches bekanntlich eines der indifferentesten gegen thermische Beanspruchungen ist, ausgeführt werden Durch besondere, leicht auswechselbare Schutzbleche wird verhindert, daß die vitalen Teile angegriffen werden. Schließlich wird der ganze Apparat nicht mehr wie früher als ein ganz zusammengeschweißtes Aggregat ausgefuhrt, sondern ist derart umgeandert, daß die inneren Teile leicht ausgewechselt, nachgesehen und ersetzt werden können, falls sie beschadigt worden sind.

Die Widegren-Generatoren sind noch nicht in genugender Anzahl hergestellt und ausprobiert worden, damit man sich schon jetzt uber deren Haltbarkeit außern könnte.

Rein thermisch genommen ist dieser Vergaser wegen seiner inneren Isolation besser geschutzt, und nur der Rost ist ein der Hitze ausgesetzter, ungeschutzter Teil, dessen Auswechslung jedoch einfach und ohne großere Extrakosten vorgenommen werden kann. Inwiefern das Isolationsmaterial auf die Dauer die Erschutterungen und unsanfte Behandlung, wie sie beim Betrieb in der Praxis vorkommt, widerstehen kann, ist noch nicht klargestellt, obwohl die bis jetzt gewonnenen Erfahrungen in dieser Beziehung recht gunstig sind.

Auch der Schmith-Generator ist so ausgeführt, daß er leicht auseinandergenommen werden kann und die inneren Teile ersetzt werden konnen. Der thermisch am meisten beanspruchte Teil, der innere kegelartige Rost, ist aus dickem, indifferentem Stahl geschmiedet und deshalb bedeutend haltbarer als aus dunnem Blech zusammengeschweißte Konstruktionselemente Die hierdurch erreichte großere Haltbarkeit geht jedoch auf Kosten des hoheren Herstellungspreises

Welches dieser drei Generatorensysteme fur unsere Verhaltnisse das geeignetste ist, kann in diesem Augenblick noch nicht entschieden werden, weil die Versuche mit den zwei zuletzt genannten Generatorentypen noch nicht in genügend ausgedehntem Maße und lange genug ausgefuhrt worden sind.

Verwendungsgebiete der Holzgasgeneratoren

Außer fur reine Lastautomobile sind die Holzgasgeneratoren bei uns für eine große Anzahl der verschiedensten Zwecke ausprobiert worden.

Fur gewohnliche Personenwagen ist der Betrieb mit Holzgas moglich und konnte bei besonders schwerer Brennstoffkrisis evtl. in Frage kommen. In normalen Verhaltnissen bietet die Verwendung von flussigem Brennstoff so große Vorteile, daß der Holzgasbetrieb keine Aussichten hat, in Frage kommen zu können.

Dagegen haben die in Autobussen für Fernbetrieb eingebauten Holzgasgeneratoren vollkommen befriedigend gearbeitet. Da bei diesen die Brennstoffunkosten eine Hauptrolle spielen, ist die Ersparnis bedeutend.

Mit Autobussen, die innerhalb der Stadt verkehren, sind ebenfalls Versuche ausgefuhrt worden, obwohl die Resultate hierbei nicht ebenso günstig waren. Da bei allen derartigen Fahrzeugen das Innehalten eines Fahrplanes eine Grundbedingung ist, spielt das Beschleunigungsvermögen eine bedeutende Rolle, und die Leistungsverminderung beim Übergang auf den Gasbetrieb ist deshalb in diesem Falle recht lastig. Bei einem kurzeren Versuchsbetrieb in Helsingfors konnte zwar der Fahrplan durchgeführt werden, aber inwiefern dieses auch bei schlechter Bahn moglich gewesen ware, konnte nicht beurteilt werden, weil der Betrieb aus anderen Grunden eingestellt werden mußte.

Bei Schleppern (Traktoren) bilden die Brennstoffunkosten ebenfalls einen Hauptposten. An vielen Orten ist man in unserem Lande sogar nicht in der Lage gewesen, mit Benzin und Petroleum getriebene Schlepper des erheblichen Brennstoffverbrauches wegen zu benutzen. Hier bietet also der Gasbetrieb die Möglichkeit zu wesentlichen Ersparnissen. Dieses ist auch der Fall bei Wegbearbeitungsmaschinen, wie z B. Weghobeln, Straßenwalzen u. dgl. Die modernen Bestrebungen bei diesen Maschinen gehen bekanntlich darauf aus, das Brennstoffkonto durch Übergang zu kompressorlosen Dieselaggregaten zu reduzieren. Hierdurch wird ja eine hochst bedeutende Ersparnis erzielt, aber durch Einführung des Gasbetriebes werden die Brennstoffkosten noch weiter herabgesetzt, und außerdem kommt ein rein einheimischer Brennstoff zur Verwendung, wodurch die Aufrechterhaltung des Betriebes unter allen Umstanden gesichert ist

Bei Bootsmotoren sind Gasgeneratoren ebenfalls mit Erfolg verwendet worden. Anstatt der luftgekühlten Reiniger sind hierbei mit Wasserkuhlung versehene Konstruktionen verwendet worden. Vorlaufig sind nur kleinere Fahrzeuge der inneren Gewasser, wie z. B. Schleppboote fur Gasbetrieb eingerichtet worden, aber es besteht die Absicht, auch Versuche mit größeren Lastbooten, Holzprahmen u. dgl auszufuhren, bei denen fruher mit Holz geheizte Dampfanlagen benutzt wurden. Da der Holzverbrauch bei Gasbetrieb nur etwa 50 bis 60 % des Verbrauches bei Verwendung von Dampfmaschinenanlagen primitiver Art, die bei derartigen Booten üblich sind, ausmacht, kann eine erhebliche Ersparnis an nutzbarem Laderaum und Deplacement erreicht werden Die Gasanlage selbst nimmt auch einen geringeren Raum ein und ist leichter als eine Dampfkesselanlage. Vor allen Dingen aber ist die Bedienung einfacher und weniger anstrengend, und da keine Hochdruckbehalter vorhanden sind, ist sie auch ungefahrlicher, so daß die Gesetzgebung keine Hindernisse fur die Verwendung von billigerem und weniger qualifiziertem Bedienungspersonal in den Weg setzt.

In Anlagen mit kleineren stationaren und transportablen Kraftanlagen, die keinen Bedarf an Heizdampf haben, sind ebenfalls Holzgasgeneratoren ausprobiert worden und scheint der Betrieb mit diesen in manchen Fallen billiger als bei Verwendung von Lokomobilen und Benzin- bzw. Petroleummotoren. Hier spielt ebenfalls der Fortfall von Dampfkesseln mit hohem Druck mit Rucksicht auf Bauten, Personal usw. eine wichtige Rolle.

Summary

Some research has been made in Finland with gas produced from wood for driving automobiles. On account of the climatic conditions, the poor roads and the hilly country these tests may be considered very severe. Also the domestic fuel of North Europe is more bulky and contains considerably more moisture than airdried wood of Middle European brand.

The main trouble with producer gas from bituminous fuel has so far been the volatile constituents of the fuel. This seems to be practically avoided by the introduction of inverted combustion in the producer.

The drop of power, when changing from gasoline to producer gas, is another drawback, which can be avoided only partially by using a higher compression ratio in the motor This drop of power has for Finnish birchwood with 20 to 30 % moisture been found to be about 40 % with unaltered compression and about 20 %, when the ratio of compression has been increased to 6.1.

Another difficulty, when driving with producer gas, is the inertia of the gas-apparatus, which especially in hilly countries compels the driver to keep the motor running continuously with considerable high speed

The fuel economy is appreciable, amounting to 80 or 90 % comparing with gasoline Anyway the total gain is much smaller, because the net capacity of the vehicle is reduced by 10—15 per cent and the rate of amortisation of the producer has to be figured very high, the actual figure still being uncertain.

Three different types of producers which have been tested, are described

The field of application of producer gas seems not to be limited to automobiles. Successfully working plants have been erected in tractors, roadmachines, rollers, boats and for stationary power stations.

France

Note sur l'influence, sur la construction française du moteur d'automobile, des taxes perçues sur les véhicules automobiles

Comité National Français

H. Dauvergne

La première formule de taxation, appliquée en France en 1908, ne tenait compte que de l'alésage du moteur. En particulier, la puissance fiscale des véhicules munis de moteurs à quatre cylindres était déterminée par la formule:

$$P = 0{,}044\, D^{2,7}$$

dans laquelle P représentait la puissance fiscale en chevaux et D l'alésage en centimètres de chaque cylindre.

Cette puissance fiscale, sur laquelle était basée l'impôt, représentait la plus grande puissance que le moteur était normalement capable de fournir sur son arbre en régime prolongé dans les conditions usuelles du fonctionnement.

La formule précédente, tout empirique, avait été déduite de l'observation des moteurs de l'époque dans lesquels l'alésage et la course offraient un rapport à peu près constant

L'application de cette formule, dans laquelle seul l'alésage intervenait, conduisit les constructeurs à allonger notablement la course des pistons, mesure qui eut pour conséquence d'accroître la puissance effective des moteurs à égalité d'alésage, sans augmentation corrélative de la puissance fiscale Pour la même raison, les constructeurs furent conduits à augmenter la vitesse de rotation des moteurs.

Afin de se rapprocher davantage de la réalité un nouveau régime de taxation ne tarda pas à être institué et, à partir du 1er janvier 1913, l'évaluation administrative de la puissance des moteurs fonctionnant suivant le cycle à quatre temps fut faite à l'aide de la formule suivante

$$P = knD^2\, L\, \omega$$

dans laquelle P désigne la puissance en chevaux-vapeur, n le nombre de cylindres, D leur alésage en centimètres, L la course commune des pistons, ω le nombre de tours du moteur par seconde correspondant à la vitesse maxima réalisée sur route et k un coefficient numérique ayant les valeurs ci-après·

0,00020	pour les moteurs	monocylindriques,
0,00017	,, ,, ,,	à 2 cylindres,
0,00015	,, ,, ,,	à 4 cylindres,
0,00013	,, ,, ,,	de plus de 4 cylindres.

L'application de cette formule ne paraît pas avoir exercé une influence sur la construction du moteur d'automobile français.

Cependant, cette application ne tarda pas à soulever de nombreuses difficultés, du fait de l'impossibilité de déterminer avec précision la vitesse de rotation ω. Bien que la circulaire ait précisé qu'une base d'appréciation de cette vitesse pouvait être obtenue en rapprochant des vitesses effectives maxima réalisées sur route, les données connues et bien déterminées relatives au rapport des engrenages, au diamètre des roues motrices et aux vitesses kilométriques correspondantes, de nombreuses difficultés apparurent lors de la détermination exacte de la vitesse maxima réalisée sur route. Cette détermination directe conduisait à des excès de vitesse parfois fort dangereux. Le résultat en était incertain, l'état de la route, la qualité de l'essence étaient susceptibles de le faire varier notablement; l'entretien du moteur ou des modifications légères faciles à effectuer, pratiquement impossibles à déceler par un examen même approfondi, dans telle ou telle partie de sa construction (orifices des soupapes plus ou moins élargies, taux de compression plus ou moins poussés, avances à l'allumage jouant plus ou moins régulièrement . . .) sont susceptibles de modifier parfois largement cette vitesse maxima. Seul le constructeur, à qui une longue étude de chaque type permet de déterminer dans tous ses détails le meilleur mode de réalisation de sa voiture, était en mesure de donner pour un modèle nouveau, les valeurs de la vitesse maxima réalisée pratiquement sur route et du nombre de tours ω correspondant du moteur; toute vérification approfondie par les soins de l'Administration demeurant impossible.

Devant ces difficultés d'évaluation, l'Administration était conduite à admettre une vitesse fiscale de rotation inférieure à la vitesse de rotation effective — que les constructeurs français, dans leur généralité, avaient, de ce fait même, tendance à augmenter considérablement.

Cette tendance s'accrut encore davantage, à la suite de l'application d'une troisième formule d'imposition prescrite par la circulaire du 11 avril 1927.

Du fait que l'établissement de moteurs de plus en plus rapides rendant très délicate l'appréciation des vitesses maxima de rotation réalisées sur route, il parut préférable, à cette époque, plutôt que d'en rechercher une évaluation directe impossible à obtenir rigoureusement exacte, d'admettre pour la vitesse angulaire ω du moteur, une valeur fixée pour chaque catégorie de véhicules à un chiffre uniforme, ayant un caractère forfaitaire. La formule d'évaluation de la puissance fiscale du moteur demeure la même, savoir.

$$P = knD^2L\omega$$

mais dans l'application de cette formule la valeur de ω était fixée une fois pour toutes de la façon suivante: $\omega = 30$ tours par seconde pour les

moteurs à essence à quatre temps des véhicules de tourisme et des camionnettes; $\omega = 20$ tours par seconde pour les moteurs à essence des camions.

La distinction entre les véhicules de tourisme et camionnettes d'une part et les camions d'autre part est effectuée d'après le poids du châssis nu, bandages compris

Les mêmes règles étaient appliquées aux moteurs à 6 ou 8 cylindres, pour lesquels la circulaire précitée portait d'autre part la valeur du coefficient K de 0,00013 à 0,00015 (valeur adoptée pour les moteurs à 4 cylindres) en raison des progrès accomplis dans la construction des ces moteurs.

L'adoption d'une valeur forfaitaire fixe pour la vitesse de rotation fiscale poussa les constructeurs à créer des moteurs tournant de plus en plus vite (jusqu'à 5000 tours par minute), afin d'échapper à un supplément d'impôt.

Les fabricants eurent intérêt à rechercher le faible volume des cylindres et un régime rapide, afin de présenter à l'acheteur une voiture à impôt réduit

Cette tendance ne fut pas sans entraîner de réels progrès dans la construction mécanique proprement dite: meilleur équilibrage des masses en mouvement, création de dispositifs permettant de lutter contre les vibrations, progrès dans la métallurgie spéciale des pistons et des cylindres, adoption de nouveaux segments afin d'assurer un meilleur graissage avec une étanchéité aussi parfaite que possible s'opposant à la remontée de l'huile dans la culasse.

Toutefois l'adoption de vitesses élevées de rotation apparût assez rapidement comme nuisible à la durée et à la bonne renommée des moteurs dont les qualités: légèreté, rendement thermique élevé sont contrebalancés par certains défauts: usure rapide, marche bruyante, entretien difficile, graissage délicat, dont la clientèle moyenne ne saurait s'accommoder. D'autre part, les constructeurs américains n'ayant pas le même souci en matière fiscale, construisent des voitures qui, du fait qu'elles tournent à un régime moins exagéré, sont plus normales et finissent par cela même à être appréciées du public, du fait de leur marche silencieuse et souple, de leur entretien limité et de la rareté des révisions.

Devant cette concurrence, les constructeurs français, ne se laissant plus diriger par le seul souci d'alléger l'impôt, ont présenté, au dernier salon, des moteurs à cylindrées plus élevées, à régime plus lent, offrant par suite de la diminution des vibrations, un meilleur confort à l'usager

Celui-ci ne tarda pas d'ailleurs à reconnaître que l'impôt direct actuel de circulation sur la voiture qui, pour une voiture de 9/10 CV, atteint 720 frs par an, n'est pas exagéré eu égard d'une part aux autres impôts dont le principal frappe l'essence (environ 1 f par litre d'essence consommée à Paris) et, d'autre part, aux dépenses annuelles des véhicules qui, pour une voiture de 9/10 CV parcourant 10000 km, peuvent être

chiffrées (amortissement compris et portant sur 80000 km), à 12000 frs.

Ainsi, s'il ne paraît pas douteux que la clientèle attache une grande importance à la puissance imposable des voitures, cette question, à condition toutefois que l'impôt correspondant ne soit pas exagéré (ce qui est le cas pour l'impôt actuel de circulation), ne paraît plus devoir exercer, présentement, une influence prépondérante sur la construction automobile.

Les principaux constructeurs français récemment consultés sur une modification d'assiette de la taxation de circulation actuelle ont d'ailleurs reconnu que sa modération ne présentait plus actuellement une influence notable sur les tendances de leur industrie. Les faits eux-mêmes et l'éducation de la clientèle sont chargés de corriger les exagérations de vitesse auxquelles cette taxation avait conduit.

Il faut noter, d'autre part, à l'avantage de la taxation actuelle, qui, du fait de l'adoption d' un nombre fixe pour la vitesse de rotation, revient à imposer la cylindrée, que cette taxation est de détermination simple et que son application ne donne lieu à aucune discussion. Son remplacement par une autre taxe conduirait, sans aucun doute, à créer des inégalités de traitement au moins aussi importantes que le régime actuel et soulèverait, dans son application, des discussions qui n'existent pas actuellement.

Le législateur a cherché également à favoriser la consommation de carburants extraits de matières premières nationales; dans ce but la règlementation actuelle prévoit une réduction de taxe de moitié pour les véhicules fonctionnant à l'aide de moteurs à combustion interne alimentés par gazogènes et par l'alcool méthylique. Ces dégrèvements ont permis un certain développement des véhicules ainsi alimentés, développement qui reste toutefois limité, soit par les difficultés d'entretien et de fonctionnement des gazogènes, soit par les dépenses du carburant.

Enfin, il nous a paru intéressant de comparer dans le temps les dimensions successives des cylindres des véhicules automobiles et nous avons pu établir, pour les années 1909/1910, 1922 et 1929, les relevés ci-joints des puissances des véhicules pris parmi les plus répandus: Citroën, Renault, Peugeot (Tableaux 1, 2, 3).

Conformément aux observations que nous avons précédemment exposées, il ressort nettement de l'examen de ces tableaux que de 1908 à 1929, si l'alésage pour une même puissance n'a que peu varié, la course des pistons a été notablement allongée et que la construction tend actuellement à l'augmentation du volume de la cylindrée et du nombre des cylindres. Pour la voiture à 4 cylindres, d'une puissance comprise entre 9 et 10 CV, actuellement la plus répandue, les dimensions de la cylindrée semblent osciller respectivement entre 70 et 75 mm pour l'alésage et entre 100 et 120 mm pour la course, suivant l'importance de la vitesse de régime. Ces dimensions, relativement stables durant les dernières années, semblent devoir être maintenues pour les années à venir.

Tableau 1. Citroën

Dénomination	Puissance en CV	Nombre de cylindres	Alésage et course	Cylindrée
		Année 1919		
A. 8/10 CV	8	4	65×100	1 litre 323
		Année 1921		
B 2 9/10 CV	9	4	68×100	1 litre 450
		Année 1922		
B. 2 9/10 CV	9	4	68×100	1 litre 450
C. 3 5 CV	5	4	55× 90	0 litre 855
		Année 1926		
B. 14	9	4	70×100	1 litre 536
		Années 1928—1929		
A. C. 4	9	4	72×100	1 litre 628
C. 6	14	6	72×100	2 litres 442

Tableau 2. Renault

Dénomination	Puissance en CV	Puissance rectifiée en 1913	Nombre de cylindres	Alésage et course	Cylindrée
			Années 1908—1909		
A X.	7	6	2	75×120	1 litre 058
	8	7	2	80×120	1 litre 201
B K	10	8	4	70×110	1 litre 690
A. Z	14	12	4	80×120	2 litres 402
B X	16	14	4	90×120	3 litres 044
B F.	18	14	6	80×120	3 litres 603
B. Y	22	20	4	100×140	4 litres 387
B H	50	30	6	100×160	7 litres 560
A. R.	38	38	6	120×140	9 litres 500
			Année 1922		
K J. 1	6		4	58× 90	0 litre 950
K Z.	11		4	75×120	2 litres 116
K H	15		4	80×140	2 litres 800
J. Y	20		6	80×140	4 litres 200
J. Y. 1	24		6	85×140	4 litres 752
J V. 1	42		6	110×160	9 litres 123
			Année 1929		
K. J 1	6		4	58× 90	0 litre 950
Monasix et Monastella	8		6	58× 93	1 litre 470
10 CV	11		4	75×120	2 litres 116
P M. (Vivasix et Vivastella)	18		6	75×120	3 litres 174
Reinastella	41		8	90×140	7 litres 120

Tableau 3 Peugeot

Dénomination	Puissance en CV	Nombre de cylindres	Alésage et course	Cylindrée
		Année 1910		
125 H I	9	2	75×130	1 litre 146
118 F. I.	10	2	90×120	1 litre 522
126 F A	12	4	80×110	2 litres 202
129 F. C.	16	4	90×120	3 litres 044
133 F F	18	6	80×110	3 litres 303
130 F D.	22	4	106×130	4 litres 500
134 F D.	22	4	108×130	4 litres 713
113 B	35	4	130×140	7 litres 433
		Année 1922		
161 N E	4	4	50× 85	0 litre 666
163 B NG.	10	4	66×105	1 litre 434
153 C. L A 4	15	4	82×130	2 litres 742
153 B. R L A 4	15	4	85×130	2 litres 940
156 M Z	25	6	95×140	5 litres 937
		Année 1929		
190	4	4	51× 85	0 litre 695
201	6	4	63× 90	1 litre 121
183	11	6	65×100	1 litre 990
182	17	6	75×112	2 litres 962
184	22	6	80×125	3 litres 760

Zusammenfassung.

Die erste französische Steuerformel im Jahre 1908 war

$$P = 0{,}044\, D^{2,7},$$

P = Zahl der Steuerpferde,

D = innerer Kolbendurchmesser in cm.

Diese Formel veranlaßte die Fabrikanten, den Kolbenhub zu verlängern, um die wirkliche Stärke der Motoren bei gleicher Bohrung zu vermehren, ohne die Steuerstärke zu erhöhen Sie verursachte gleichfalls eine Erhöhung der Drehzahl.

Von 1913 ab war die neue Steuerformel.

$$P = k\, n\, D^2\, L\, \omega,$$

worin P = Pferdestärke,

n = Zahl der Zylinder,

D = Bohrung in cm,

L = Kolbenhub in cm,

ω = Drehzahl des Motors pro Sekunde entsprechend der Höchstgeschwindigkeit auf der Straße,

k = Koeffizient, welcher folgende Werte bedeutet

0,00020 für Motore mit 1 Zylinder,
0,00017 „ „ „ 2 Zylindern,
0,00015 „ „ „ 4 „
0,00013 „ „ „ mehr als 4 Zylindern.

Diese Formel scheint keinen besonderen Einfluß auf die Fabrikation des französischen Automobilmotors gehabt zu haben.

Durch die Schwierigkeiten, die Höchstgeschwindigkeit zu schätzen, wurde die Verwaltung jedoch dazu veranlaßt, 1927 einen festen Wert für die Drehzahl jeder Wagenkategorie zu bestimmen.

Die Steuerformel blieb dieselbe:

$$P = k\,n\,D^2\,L\,\omega\,,$$

aber ω wurde in dieser Formel auf 30 oder 20 U/s festgesetzt, je nachdem ob es sich um Touren- oder Lastwagen handelte.

Die Annahme dieser festen Werte veranlaßte die Fabrikanten, sehr schnelle Motoren zu schaffen (bis 5000 U/min), um eine Steuererniedrigung zu erreichen.

Diese Tendenz war die Ursache wichtiger mechanischer Fortschritte: besseres Ebenmaß der Bewegungsteile, Schaffung von Einrichtungen gegen die Schwingungen, Fortschritte im Material der Kolben und Zylinder, Verbesserung der Schmierung.

Jedoch war diese hohe Geschwindigkeit den Motoren schädlich, deren Qualitaten: Leichtigkeit, hoher thermischer Wirkungsgrad, nun durch Fehler aufgehoben wurden: schnelle Abnutzung, gerauschvoller Betrieb, schwierige Unterhaltung und Schmierung.

Dagegen bauten die amerikanischen Fabrikanten, die diese Steuersorgen nicht hatten, Wagen, deren Motoren langsamer liefen und die vom Publikum wegen ihres ruhigen Laufes und ihrer geringen Unterhaltung mehr geschätzt werden.

Wegen dieser Konkurrenz haben die französischen Fabrikanten, ohne sich allein von der Steuersorge beeinflussen zu lassen, auf der letzten Automobilausstellung Motoren mit großerem Hubraum und langsamer Drehzahl ausgestellt.

Die Tatsache selbst und die Erfahrung des Publikums haben den durch die Steuern verursachten Schnellauf der Motoren beseitigt, und die jetzigen Steuern scheinen keinen besonderen Einfluß mehr auf die Automobilfabrikation auszuüben.

Nr. 407

Tschechoslowakei

Verbrennungskraftmaschinen in der Tschechoslowakei

Tschechoslowakisches Nationalkomitee

Prof. Dr.-Ing. K. Korner

Die Voraussetzungen für die *Forschung* auf dem Gebiete der Verbrennungskraftmaschinen sind in der Tschechoslowakischen Republik sehr ungünstig, weil mit Ausnahme ihrer Verwendung im Automobilbau und Flugwesen die wirtschaftlichen Bedingungen zumeist für Dampfkraftmaschinen günstiger liegen und andererseits, weil die Forschungsstätten noch recht rückständig sind. Insbesondere befinden sich an den technischen Hochschulen bisher nur ungenügende Versuchseinrichtungen und die Professoren haben zu große Lehrfächer oft auf weit auseinanderliegenden Gebieten zu bewältigen und verfügen über eine viel zu geringe Zahl von Hilfskräften und viel zu geringe Geldmittel. Auch lassen die ungünstigen wirtschaftlichen Verhältnisse der meisten Studierenden nach Beendigung ihrer Studienzeit ihnen nicht die Möglichkeit, sich wissenschaftlichen Arbeiten zu widmen. Daher kommt es im allgemeinen, daß die technische Forschung in unserem Lande noch wenig gepflegt und anerkannt wird, was sich auch darin äußert, daß die Industrie trotz ihrer Größe und Bedeutung verhältnismäßig wenig selbständig Neues bietet.

Die vielen noch ungelösten Fragen der Verbrennungsmotoren würden hingegen genug Anregungen zur Forschertätigkeit bieten. Berechnungen und Versuche über Wärmespannungen im Zusammenhang mit dem Wärmeübergang, der Verlauf der Verbrennungsvorgänge in den Maschinen, die Vorgänge im Vergaser, bei Druckluft- und einfacher Druckzerstäubung des Brennstoffes mit und ohne Vorkammer, der Spülvorgang bei Zweitaktmaschinen, die Schwingungserscheinungen im Auspuff und andere Fragen harren der experimentellen Einzeluntersuchung. Hierzu konnten bisher nur kleine Ansätze gemacht werden, die hoffentlich doch wenigstens teilweise zu brauchbaren Ergebnissen führen werden.

Über die bauliche Entwicklung *schnellaufender Vergasermotoren* ist zu erwähnen, daß außer den auch sonst allgemein gebräuchlichen wassergekühlten Automotoren auch luftgekühlte Motoren (Tatrawerke) Verwendung finden, deren Betriebsergebnisse interessieren. Der Benzinverbrauch des Zweizylindermotors beträgt 8 bis 10 l für 100 km auf

der Straße, wobei der Wagen leer 800 kg wiegt und 4 Personen tragt. Beim luftgekuhlten Vierzylindermotor betragt der Benzinverbrauch 12 l je 100 km, der schwerste leere Wagen wiegt 1100 kg und tragt 6 Personen. Besonderheiten zeigt die Schmierung des Zweizylindermotors. Das Öl wird durch eine Mehrkolbenpumpe tropfenweise zugeführt, und zwar zu den zwei Kurbelwellenzapfen, zur Nockenwelle und zu den Kolben. Mittels eines Rohrchens gelangt es in die Ringnuten der Kurbelwelle, von wo aus es den Kurbelzapfen zugefuhrt wird. Der Ölverbrauch betrug auf langerer Fahrt durch die Alpen beim Vierzylinder 100 g/100 km, wobei sich die Viskositat des Öls verbesserte, der Aschengehalt nahm naturgemäß zu. Wegen der liegenden Zylinderanordnung gelangt kein Brennstoff in den Kurbelkasten, die leicht flüchtigen Bestandteile verdampfen bei dem Umlauf und der Erhitzung des Öls.

Alle Automobilmotoren der großen Firmen werden gebremst und die Wagen vielfach auf Bremsdynamos und Bremstrommeln auf Leistung und Widerstand geprüft. Manche Firmen (Českomoravská-Kolben-Daněk) benutzen besondere Schmierwärter, die besonders beim Anlassen der Motoren die allzugroße Erhitzung der Lager verhindern. Der Schmieröldruck wird auch zum Antrieb einer Servobremse verwendet.

Flugmotoren eigener Bauart werden von den Skodawerken, der Bohmisch-Mahrischen Maschinenfabrik und Walter hergestellt.

Die Kraftfahrzeugwirtschaft weist in der Tschechoslowakischen Republik einen verhaltnismäßig sehr großen Umsatz auf (2,5 bis 3 Mia K) und die Zahl der im Inland in einem Jahre erzeugten Automobile hat 20000 erreicht und dürfte rasch weiter ansteigen, wie es die bedeutenden Betriebserweiterungen erwarten lassen. Die eigene Kraftfahrindustrie durfte also einen Umsatz von rd 1 Mia. ergeben. Dazu kommt die Einfuhr von Wagen (rd. 4000), Motorradern, der Verbrauch an Radreifen, Benzin und Öl, Zollen (rd 60 Mill K), Reparaturen, Garagen, Lohnen.

An *Traktoren und Motorpflugen* wird der Markt im wesentlichen schon von Inlandsfabrikaten versorgt.

Bezuglich der *Dieselmotoren* sind besondere Bauarten nur insofern zu erwahnen, als eine Firma (Skodawerke) große liegende Maschinen gebaut hat. Im übrigen sind die Bauarten die allgemein bekannten für kleinere Leistungen, und zwar für Land- und Schiffsantrieb. Besonderheiten zur Steigerung der Zylinderleistungen oder Versuche mit abnormalen Brennstoffen sind in der Tschechoslowakischen Republik nicht bekannt geworden.

Summary

The present state of development in the construction of internal combustion engines in Czecho-Slovakia and future possibilities in this connection are discussed. Brief particulars are given of high-speed gasoline engines and their economic importance in Czecho-Slovakia. Reference is also made to Diesel engine construction

Generalbericht

Flugzeug- und Fahrzeugmotoren

Ministerialdirigent Dr.-Ing. Brandenburg und Dr. Heller

A. Flugzeugmotoren

Ministerialdirigent Dr.-Ing. Brandenburg

Mit dem schnellaufenden Dieselmotor haben sich zwei der zur heutigen Tagung eingegangenen Berichte beschaftigt:

Bericht Nr. 291. Eine neuere Bauart des raschlaufenden Dieselmotors, insbesondere auch fur Fahrzeugzwecke (Ungarn) Dipl.-Ing. G. Jendrassik

Die von *Jendrassik* beschriebene Bauart kommt im wesentlichen für Eisenbahn, Wasser- und Straßenfahrzeuge in Betracht. Fur Flugzeuge ist das Gewicht von 13 kg/PS zu schwer. Von Interesse ist die Art der Brennstoffeinspritzung, welche *Jendrassik* gewählt hat. Mit Rücksicht auf volle Betriebssicherheit wurden fur diesen Motor offene Brennstoffdusen mit großen Bohrungen und niedrige Einspritzdrücke gewählt. Der Brennstoff wird knapp vor dem Totpunkt durch eine Öffnung der Vorkammer gegen eine Prallfläche des Kolbens gespritzt und hierdurch tellerartig in der Luft des scheibenformigen Verbrennungsraumes verteilt.

Durch dieses Verfahren wird die verteilende Wirkung der Vorkammer unterstützt, so daß man die Arbeitsweise der Maschine als eine Vereinigung der Vorkammerwirkung und der Druckeinspritzung bezeichnen kann. Fur die Einspritzpumpe wurde statt des zwangslaufigen Nockenantriebes der Antrieb durch eine Feder gewahlt, die im Augenblick des Einspritzens ausgelost wird. Die Feder wird auf 150 kg/cm² Druck eingestellt, wovon auf die Einspritzung rd. 80 kg/cm² entfallen. Durch diese Anordnung wird der Einspritzdruck von der Drehzahl der Maschine unabhängig.

Ein neuartiges Anlaßverfahren dient ferner dazu, eine genügend hohe Temperatur am Ende des Verdichtungshubes zu sichern: beim Anlassen werden besondere Nocken eingeschaltet, die die Saugventile erst gegen Ende des Saughubes öffnen. Im ersten Teil des Saughubes entsteht daher im Zylinder ein hoher Unterdruck, so daß sich die Luft, die nach Öffnen des Saugventils in den Zylinder strömt, unter Drucksteigerung erwärmt. Die Erfahrungen haben bewiesen, daß diese Erwärmung ausreicht, um die Wärme zu ersetzen, die wahrend des Verdichtungshubes an die Wandungen abgefuhrt wird.

Eine nach diesem Verfahren durchgebildete 6-Zylinder-Fahrzeugmaschine, die bei 1000 U/min 110 PS leistet, wiegt trotz der widerstandsfähigen Bauart nicht mehr als 13 kg/PS. Diese Motoren haben

sich bereits im Gebrauch bei Eisenbahnen und auf Schiffen bewahrt sowie zum Antrieb von kleineren Lichtkraftwerken oder Pumpwerken als geeignet erwiesen.

Bericht Nr. 55: Die Wirtschaftlichkeit schnellaufender Dieselmotoren in Verkehrsfahrzeugen (Deutschland)
Dipl.-Ing. F. Schultz und Mitarbeiter

F. Schultz zeigt einleitend, wie die Fortschritte in den Anforderungen an die Kraftfahrzeuge und Flugmotoren die Entwicklung geeigneter Dieselmotoren fur ihren Antrieb erschwert haben und welche Bedingungen eine fur den Fahrzeugbetrieb geeignete Dieselbauart erfüllen muß. Bis zu welchem Grade dies heute in Deutschland gelungen ist, wird an Hand von ausführlichen Zusammenstellungen über Abmessungen, Leistungen, Gewichte und Kosten deutscher schnellaufender Dieselmotoren besprochen. Der Begriff des Schnellaufs wird dabei nicht durch Bezugnahme auf irgendeine Geschwindigkeit festgelegt, sondern auf alle Motoren ausgedehnt, die ihrer Bauart und Betriebsweise nach den Voraussetzungen des Leichtbaues entsprechen. Ebenso beschrankt der Verfasser seine Betrachtung uber die Wirtschaftlichkeit des Fahrzeug-Dieselmotors nicht auf die reinen Betriebskosten, zu denen auch die Zinsen und Abschreibungen zu rechnen sind, sondern bewertet auch das betriebliche Verhalten der Motoren gegenüber den Vergasermotoren, so insbesondere die Eigenschaften der Auspuffgase, die Ruhe des Laufes, die Zuverlassigkeit, die Kosten der Instandhaltung usw., da hiervon die Moglichkeit der allgemeinen Einfuhrung des Dieselmotors in den Verkehr abhangt.

An Hand von Zahlen beweist der Verfasser, daß auch diese Voraussetzungen durch den Dieselmotor gut erfullt werden und daß die Anwendung des Dieselmotors im Fahrzeugbetrieb in Deutschland in größerem Umfange bereits angefangen hat. So laufen in Deutschland 245 und im Ausland 230 Lastkraftwagen mit Dieselmotoren der Bauarten Acro-Bosch, Daimler-Benz, Deutz, Junkers und MAN, abgesehen von 65 Fahrzeugen dieser Art mit Dieselmotoren anderer Bauarten. Außerdem waren am 1. Oktober 1929 insgesamt 1882 Lokomotiven, davon 134 Grubenlokomotiven in Betrieb. Die Überlegenheit des Dieselmotors beim Antrieb von Kraftfahrzeugen erstreckt sich nicht nur auf die Brennstoffkosten, an denen gegenüber dem Benzinbetrieb 70 bis 80%, aber auch gegenuber dem Dampfbetrieb, z. B. auf Schiffen, 15% gespart werden, sondern auch auf die schnelle Betriebsbereitschaft, da das lange Anwarmen des Motors entfallt und das Umsteuern schnell bewerkstelligt werden kann.

Im Hinblick auf die Luftfahrt sieht er einen besonderen Vorteil in der wesentlich geringeren Feuergefahrlichkeit des Dieselols gegenuber Benzin oder Benzol. Aus der Unfallstatistik der letzten Jahre entnimmt er, daß in der deutschen Luftfahrt im Jahre 1926 6, 1927 10 und 1928 11 Brände zu verzeichnen waren.

Zum Schluß gibt der Verfasser einen Ausblick auf die Zukunftsaufgaben des Konstrukteurs auf diesem Gebiet. Unter diesen werden

Steigerung der Drehzahlen und mittleren Kolbendrucke, Bekämpfung der Schädlichkeit der Auspuffgase, Beseitigung der Rauchentwicklung im Auspuff bei Höchstbelastungen und Verminderung der Betriebsgeräusche besonders hervorgehoben.

Daß auch in der Luftfahrt der Dieselmotor in absehbarer Zeit in Wettbewerb wird treten können, beweist auch die Tatsache, daß in der letzten Zeit die Dieselmotoren von Junkers und Packard-Dorner erfolgreich ihren Probeflug bestanden haben. Dabei liegen die Einheitsgewichte mit rund 1,4 kg/PS nicht mehr sehr viel höher als die der jetzigen Flugmotoren, so daß bei Langstreckenflügen sich jetzt schon bei Berücksichtigung des sparsameren Brennstoffverbrauches ein gewichtsmäßiger Vorteil ergibt.

Bericht Nr. 6: Beitrag zur Frage der Ausnutzungsmöglichkeiten klopffester Kraftstoffe im praktischen Kraftfahrzeugbetrieb (Deutschland)
Dr.-Ing. O. Enoch

Gerade bei den Langstreckenflügen gewinnt ja der Betriebsstoffverbrauch gegenüber dem Einheitsgewicht eine erhöhte Bedeutung. Infolgedessen ist es nicht uninteressant, die Wege zu verfolgen, die zur Verringerung des Brennstoffverbrauches beschritten werden. Im wesentlichen wird, wie bereits erwähnt, durch Steigerung des Verdichtungsverhältnisses versucht, den Brennstoffverbrauch herabzusetzen.

Enoch berichtet auf Grund von ausgedehnten Versuchen bei Automobilfabriken auf dem Motorenprüfstand, an eigenen Kraftfahrzeugen des Benzolverbandes sowie an Fahrzeugen fremder Besitzer über eine Reihe von allgemeinen Gesichtspunkten für die Aussichten der Steigerung des Verdichtungsgrades bei Kraftwagenmotoren. Die Gesichtspunkte sind sinngemäß auch auf Flugmotoren anwendbar.

Daß die Steigerung der Verdichtung die Wärmewirtschaft des Motors wesentlich verbessert, ist bekannt. Bei welchem höchsten Verdichtungsgrad diese Verbesserung ihren Höchstwert erreicht, kann man noch gar nicht sagen, nachdem ein Motor der Bayrischen Motorenwerke selbst bei 11facher Verdichtung noch starken Anstieg des thermischen Wirkungsgrades ergeben hat. Dagegen beantworten diese Versuche die Frage, ob die vorhandenen Motoren eine Steigerung des Verdichtungsgrades zulassen, dahin, daß weder Wärmebeanspruchungen noch mechanische Beanspruchungen im Dauerbetrieb Schwierigkeiten ergeben haben, so daß man bei Lastkraftwagen 7- bis 8fache Verdichtung noch als zulässig ansehen kann.

Wichtig ist aber die Rücksicht auf die Klopffestigkeit der verfügbaren Brennstoffe. Setzt man bei Lastkraftwagen 4,8 als Grenze des Verdichtungsverhältnisses für Verwendung von reinem Benzin und bei Personenkraftwagen 5,2, so zeigt die Statistik, daß in Amerika 70% der Personenkraftwagen und 20% der Lastkraftwagen noch für Betrieb mit reinem Benzin eingerichtet sind, während man bei Verwendung von handelsüblichen Brennstoffgemischen oder von Benzin mit Zusatz von Klopfschutzmitteln 5,5- bis 6,5fache Verdichtung verwenden kann.

Zum Schluß werden die Verfahren zur Ermittlung der Klopffestigkeit von Brennstoffen und Brennstoffgemischen durch die praktische Motorprufung und die Vorausbestimmung der Klopfgrenze von gegebenen Brennstoffgemischen besprochen.

Bericht Nr. 176: Kraftwagenmotor und Brennstoff und ihre Weiterentwicklung (Österreich)
Dr.-Ing. A A. Herzfeld

Herzfeld betrachtet den Leichtmotor vom Standpunkt der Leistungssteigerung und Vergrößerung der Wirtschaftlichkeit. Um diesen Zweck zu erreichen, gibt es zwei Wege, Drehzahlsteigerung und die Erhohung des Verdichtungsverhaltnisses. Beide Moglichkeiten haben aber ihre Grenzen. Große Schwierigkeiten machen bei den hohen Drehzahlen die Massenkrafte. Eine genaue Auswuchtung aller rotierenden Teile ist notwendig. Daneben ist beim Kraftwagen besonders das geringe Anzugsvermögen des Schnellaufers nachteilig, welches sich daraus ergibt, daß die Ventilzeiten bei hohen Drehzahlen Nacheinstromen und Vorausströmen in hohem Maße zulassen müssen, woraus sich bei niedrigen Drehzahlen geringe Füllung und schlechte Ausnutzung des Krafthubes ergeben.

Die Grenze der Verdichtungssteigerung liegt darin, daß der Motor zum Schluß nicht mehr ruhig lauft, sondern zu klopfen anfangt. Die Klopfgrenze ist einerseits durch die Konstruktion des Verbrennungsraumes, anderseits durch die Wahl des Brennstoffes gegeben. Auf Grund eingehender Untersuchungen bringt *Herzfeld* einen Zylinderkopf in Vorschlag, wie er in ähnlicher Form vor nicht allzu langer Zeit auch nach Versuchen von *Whatmough* sich als gunstig erwiesen hatte.

Herzfeld schlagt vor, daß zur besseren Ausnutzung der Kraftstoffe die Klopffestigkeit, gemessen nach dem Ricardoschen Toluolwert, an den Tankstellen offentlich angeschlagen werden sollte. Gleichzeitig sollten die Automobilfabrikanten angeben, welche Klopffestigkeit des Brennstoffes bei ihren Wagen mindestens verlangt werden muß. Auf diese Weise würde gleichzeitig der Anreiz zur Veredlung der Brennstoffe vergroßert werden.

Bericht Nr. 324: The Position of Research on the Light Petrol Engine. Notes on the Position of Research in Great Britain (Great Britain)
H. S. Rowell und C. G. Williams

Eine Literaturschau uber den Stand der Leichtmotorenforschung haben *Rowell* und *Williams* eingereicht. Der Bericht ist eine Zusammenstellung der Forschungsarbeiten, die in Großbritannien in den letzten Jahren im Leichtmotorenbau erschienen sind. Der Inhalt der erwahnten Arbeiten ist auch in Deutschland zum Teil bekanntgeworden und wird hoffentlich heute in manchem Punkte zu einer interessanten Aussprache fuhren.

Entwicklungslinien

Auf dem Gebiete der Flugmotoren liegt eine große Zurückhaltung in der öffentlichen Berichterstattung vor. Auch die beiden einzigen, von italienischer Seite in Aussicht gestellten Berichte sind nicht so

rechtzeitig eingetroffen, daß sie für die Generalberichterstattung Verwertung finden konnten. Indessen ist zu hoffen, daß die Aussprache über Flugmotoren das ersetzt, was wir an schriftlichen Darstellungen vermißten. Die Generalberichterstattung hat aber aus den übrigen über Fahrzeugmotoren eingegangenen Berichten das herausgenommen, was auch auf Flugmotore anwendbar war.

Ich führe diese Zurückhaltung bei Veröffentlichungen über Flugmotoren für die Weltkraftkonferenz auf zwei Hauptgründe zurück: Einmal ist der Flugmotorenbau im Gegensatz zum Fahrzeugmotorenbau noch in einem Stadium von erheblich schnellerer Entwicklung. Was heute auf diesem Gebiete modern und gut ist, wird morgen durch Neueres und Besseres überholt. Des weiteren dient in den meisten Ländern dieser Zweig der Technik vornehmlich der Landesverteidigung, und daher ist ebenfalls die Zurückhaltung in der öffentlichen Berichterstattung über Neuerungen und im Versuchsstadium Befindliches zu begreifen

Sie wissen, daß Deutschland Rücksichten dieser Art infolge der ihm durch den Versailler Vertrag auferlegten Bindungen nicht zu nehmen hat. Infolgedessen sind in Deutschland diese Probleme von der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt und der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt in aller Öffentlichkeit behandelt. Ich werde daher im nachstehenden auf dieses Material, das ich als bekannt voraussetze, nur kurz eingehen.

Zunächst möchte ich die Hauptprobleme des Flugmotorenbaues kurz umreißen. Verminderung des Einheitsgewichtes, Erhöhung der Betriebssicherheit und Herabsetzung des Betriebsstoffverbrauchs sind die Grundsätze, welche bei der Weiterentwicklung der Flugmotoren den Konstrukteur vor Aufgaben stellen, die nicht ohne innere Widersprüche sind und daher zu Kompromißlösungen führen, bei denen die Berechnungen, ja vielleicht noch das Gefühl der Konstrukteure von wesentlicher Bedeutung sind.

In der Verminderung des Gewichts hat man gleich zu Beginn der Entwicklung gute Fortschritte gemacht. Die Luftfahrt hat ihren Motor aus dem Kraftfahrwesen entnommen. Er stand ihr mit einem Einheitsgewicht von etwa 4 kg/PS zur Verfügung. Dieses Gewicht konnte sehr bald auf 1,5—2 kg/PS herabgesetzt werden. Es war die Norm für die Motoren des Weltkrieges. Nach dem Kriege hat man weiter rasche Fortschritte gemacht, so daß heute Motoren von 1,0 bis herab zu 0,6 kg/PS Gewicht üblich sind.

Wenn die Verminderung des Einheitsgewichts der Flugmotoren leicht festzustellen ist, so ist es außerordentlich schwer, ein Urteil über die Änderung der Betriebssicherheit von Flugmotoren zu gewinnen Hier kann man im allgemeinen sagen, daß die Betriebssicherheit der Flugmotoren gestiegen ist; ob aber gerade im letzten Jahrzehnt eine stetige Steigerung der Betriebssicherheit zu verzeichnen ist, kann auch bei der sorgfältigsten Betrachtung der Unfallstatistiken nicht gefolgert werden, weil zum mindesten in der ersten Hälfte des Jahrzehnte auch im Luftverkehr noch Flugmotoren Verwendung fanden, die, wenn sie auch

nicht aus den Kriegsarsenalen stammten, doch ihrer Konstruktion nach vornehmlich für eine militärische Verwendung gebaut waren. Aber wenn ich recht sehe, sind überall die Bestrebungen darauf gerichtet, unter Umständen unter Verzicht auf ein besonders geringes Einheitsgewicht die Betriebssicherheit der Flugmotoren unbedingt zu heben. Die Gründe dafür sind besonders stichhaltig. Prof. Dr. *Kamm* betonte in einem Vortrag über die Gestaltung des Luftfahrzeugmotors, daß heute für die Schaffung eines wirtschaftlichen Verkehrsfluges die Erhöhung der Betriebssicherheit viel wesentlicher sei als geringes Einheitsgewicht. Auf Grund eingehender Betrachtungen kommt er zu dem Schluß, daß bei künftigen Motoren die Dauerleistung bis auf die Hälfte der Spitzenleistung herabgesetzt werden sollte. Damit die Gewichtsfrage keine unbefriedigende und rückschrittliche Form annahme, könnte dann die bei Prüfläufen von einigen Stunden durchzuhaltende Spitzenleistung gleichzeitig die Grenze der Beanspruchungsfähigkeit darstellen.

Wegen des großen Einflusses, den der Brennstoffverbrauch besonders bei langen Flügen auf das gesamte Triebwerk hat — bei einem 10-Stunden-Flug sind 10 g/PSh Ersparnis im Brennstoffverbrauch gleichbedeutend mit 100 g/PS Gewichtsersparnis am Motor —, ist man auch im Flugzeugbau auf die Verringerung des Brennstoffverbrauches der Motoren bedacht, obwohl der eigentliche Brennstoffpreis im Verhältnis zu den übrigen Kosten des Fluges keine überragende Bedeutung hat.

Der bisher beschrittene Weg zur Verringerung des Brennstoffverbrauches besteht im wesentlichen in der Steigerung des Verdichtungsverhältnisses. Mit der Frage befassen sich auch die zur heutigen Tagung eingegangenen Berichte von *Enoch* und *Herzfeld*.

Unter den Flugmotoren kann man im wesentlichen zwei Typen unterscheiden. die luftgekühlten und die wassergekühlten Motoren. Bis vor wenigen Jahren war in Deutschland der wassergekühlte Motor derjenige, welcher am häufigsten angetroffen werden konnte. Da bei Wasserkühlung die Wärmebeherrschung am einfachsten ist, so war er dem luftgekühlten Motor an Betriebssicherheit und Brennstoffverbrauch überlegen. Seitdem hat sich zwischen beiden Arten ein Kampf entsponnen, der für kleinere und mittlere Leistungen nunmehr in fast allen Fällen zugunsten des luftgekühlten Motors entschieden ist.

Nachdem durch systematische Versuchsarbeit so viel Erfahrungen gesammelt worden sind, daß heute die direkte Kühlung des Zylinders durch den Luftstrom bei kleinen und mittleren Einheiten ebenso zuverlässig gemacht werden kann wie die indirekte mit Wasserumlauf, sind die Vorteile des luftgekühlten Motors durch geringes Gewicht gegeben. Auch seine Betriebssicherheit wird meist höher eingeschätzt, da Undichtigkeiten an den Rohrverbindungen wassergekühlter Motoren schon häufig zu Notlandungen Anlaß gegeben haben.

Ein Nachteil des luftgekühlten Motors ist heute noch der große Stirnwiderstand der Sternbauart. Außerdem versperrt der Sternmotor wegen seines großen Durchmessers einen erheblichen Teil des Blickfeldes. Die Reihenbauart erweist sich sowohl hinsichtlich des Stirnwiderstandes als auch der Sicht vom Führersitz aus als günstiger. Deshalb setzt sich

jetzt für kleine Leistungen immer mehr der luftgekühlte Reihenmotor durch. Für den Reihenmotor mittlerer Leistung bietet die Luftkühlung bisher noch Schwierigkeiten. Wegen der Verbesserung des Blickfeldes verdient auch die in letzter Zeit beliebt gewordene hängende Bauweise der I-, V- und W-Motoren Beachtung.

Auf dem Gebiete der wassergekühlten Motoren verspricht man sich heute vielfach einen Fortschritt durch Verwendung hoher siedender Kühlmittel. Der Vorteil dieser Maßnahme liegt auf der Hand. Die größere Tempetaturdifferenz zwischen Kühlmittel und Luft erfordert kleinere Kühlerabmessungen und dementsprechend weniger Kühlflüssigkeit. Daraus ergibt sich sowohl eine Ersparnis an Stirnwiderstand als auch an Gewicht. Der Nachteil ist, daß geeignete hoher siedende Kühlmittel, z. B. das Äthylen-Glykol, wesentlich schwerer zu beschaffen und teurer im Preis sind.

Die Sicherheit des Flugbetriebes wird heute noch sehr beeinträchtigt durch die außerordentliche Feuergefährlichkeit des Motorentreibstoffes, des Benzins. Die Einführung von Schwerölen als Brennstoff würde daher einen großen Fortschritt darstellen. Schweröle im Vergaserbetrieb zu verwenden, ist bisher bei so hoch belasteten Motoren, wie sie der Flugbetrieb erfordert, hauptsächlich wegen der Schmierölverdünnung nicht gelungen. Dem Dieselverfahren werden daher größere Aussichten zugesprochen. Eine Schmierölverdünnung ist bei ihm nicht zu befürchten, da das Treiböl sofort nach der Einspritzung verbrennt. Dazu kommt, daß der Brennstoffverbrauch gegenüber dem Vergaserbetrieb bedeutend geringer ist.

Letzthin wurden auch wieder einige bald in Vergessenheit geratene Möglichkeiten zur Verbesserung des Brennstoffverbrauches besprochen. Sie ergeben sich daraus, daß die Abgase des Vergaser- und auch des Dieselmotors am Ende des Dehnungshubes noch einen Überdruck von mehreren Atmosphären besitzen, welcher ungenutzt verpufft wird. Zur Herabsetzung dieses Verlustes bieten sich mehrere Möglichkeiten: einmal die Verkürzung des Ansaughubes, z. B. durch früheres Schließen des Einlaßventils, des weiteren die Entspannung der Abgase in einem Niederdruckzylinder oder in einer Abgasturbine und Abarten dieser Methoden.

Die beiden ersten Verfahren haben den Nachteil, daß die Verringerung des spez. Brennstoffverbrauchs mit einer erheblichen Steigerung des Einheitsgewichtes erkauft wird; denn um einen fühlbaren Erfolg zu erzielen, muß die Expansion mindestens bis auf das doppelte Volumen des Saughubes getrieben werden. Allerdings wird im ersten Fall auch eine allgemeine Herabsetzung der Motorbelastung erreicht. Durch Veränderung der Einlaßzeit würde sogar die Möglichkeit gegeben sein, vorübergehend durch Vergrößerung der Füllung wesentlich höhere Leistungen, z. B. beim Start, zu erzielen. An Stelle der Drosselung würde also bei diesem Arbeitsverfahren die wirtschaftlichere Füllungsregelung treten können. Eine ähnliche Wirkung dürfte auch durch betriebssichere Abgasturbinen erzielbar sein.

Diskussionsvorschläge

Um die Aussprache, die der Hauptzweck der heutigen Versammlung sein soll, anzuregen, seien die Probleme, die sich aus den eingegangenen Berichten und aus dem Stand der Motorenentwicklung ergeben, noch einmal kurz zusammengefaßt·

1. Ist die Betriebssicherheit der Flugmotoren heute für den Verkehrsflug ausreichend? Wie steht es mit der Zuverlässigkeit der Triebwerksteile und wie mit der Schmierung und Zündung?

2. Wird der Dieselmotor den heutigen Vergasermotor ersetzen konnen, ohne daß ein merklich höheres Einheitsgewicht in Kauf genommen werden muß, und bietet der hinsichtlich Brandgefahr gunstige Dieselmotor wegen der hohen mechanischen und thermischen Beanspruchungen nicht anderseits eine große Bruchgefahr?

3. Wird der luftgekühlte Motor auf die Dauer den flüssigkeitsgekühlten ganz verdrängen oder wird nach Abschluß der Entwicklung jeder Motor seinen Verwendungszweck haben, für den er besonders geeignet ist (z. B. Langstreckenflug, hohe Leistung für indirekt gekuhlte Motoren)?

4. Wird der Zusatz von Antiklopfmitteln zum Brennstoff eine Erhöhung der Vorverdichtung und damit eine Herabsetzung des Brennstoffverbrauchs ermöglichen, oder sind die mit der Verwendung der Antiklopfmittel verbundenen Nachteile, z. B. Giftigkeit des Blei-Tetra-Äthyls, Ausscheidung von festen Bestandteilen beim Eisen-Karbonyl, so sehr ins Gewicht fallend, daß dieser Weg nicht weiter zu verfolgen ist?

5. Kann die Wirtschaftlichkeit des Flugmotors durch verlängerte Expansion gesteigert werden?

B. Fahrzeugmotoren

Dr. Heller

Aus dem Gebiete des Fahrzeug-Motorenbaues liegen, abgesehen von den Berichten, auf die der Herr Generalberichterstatter uber Flugzeugmotoren eingegangen ist, folgende Berichte vor:

Bericht Nr. 392: Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit des Transports mit Eisenbahn und Kraftwagen in Argentinien (Argentinien)
Dipl.-Ing. W. Wagner

Die Studie bezweckt, die Grenzen der Wirtschaftlichkeit dieser beiden Transportmittel festzustellen und hierdurch unnützen Wettbewerb auszuschalten. Sie beschränkt sich auf das argentinische Flachland, das ungefähr $^4/_5$ dieses Staates einnimmt. Die Berechnung der Kosten des Transports mittels Kraftwagen auf Grund von Zahlen aus zwei argentinischen Betrieben erstreckt sich auf Fahrzeuge von 1,5 t sowie von 5 t ohne oder mit Anhanger, ferner auf gepflegte Lehmstraßen und befestigte Landstraßen, wobei zu den ermittelten Selbstkosten einschließlich Abschreibungen für Gewinn und Verwaltung 10% der Selbstkosten zugeschlagen werden. Die Ergebnisse berücksichtigen auch den Zeit-

verlust beim Auf- und Abladen und sind als Diagramme der Transportkosten von 1 t in Abhängigkeit von der Entfernung dargestellt. In ähnlicher Weise werden die Transportkosten auf der Eisenbahn für verschiedene Tarife oder Warenklassen aufgetragen, so daß man durch Übereinanderlegen der Diagramme die Grenzen der Anwendbarkeit dieser beiden Transportmittel ersehen kann, unter der Voraussetzung, daß alle sonstigen Bedingungen gleich sind.

Weiter wird gezeigt, daß der Einfluß der Umladekosten geeignet ist, die Grenzen der Wirtschaftlichkeit des Kraftwagens zu erweitern. Aber auch dem reinen Eisenbahntransport gegenüber ist der Kraftwagentransport wirtschaftlich günstiger, sofern es sich um Wege von 50 bis 200 km für Güter der Klassen 1 bis 10 oder um Wege von 20 bis 50 km für Güter der reduzierten Tarifklassen handelt.

Bericht Nr. 338: Erfahrungen mit Kraftgas aus Holz für Automobile (Finnland)
Prof. H. Kyrklund

Die Schwierigkeiten des Betriebes von Kraftfahrzeugen mit Kraftgas aus festen Brennstoffen bestanden ursprünglich in der Trägheit des Generatorbetriebes und in mangelnder Reinheit des Gases. Bei Verwendung von Holz als Brennstoff konnte man die Verbrennungswärme auf einen kleinen Raum beschränken und dadurch die Trägheit der Gasentwicklung zum Teil überwinden. Durch Anwendung von Gaserzeugern mit umkehrender Gasströmung hat man ferner erreicht, daß alle teerartigen Verunreinigungen des gebildeten Gases in der Brennzone zersetzt werden. Fast alle gebräuchlichen Gaserzeuger für Kraftwagen sind nach diesem Verfahren gebaut.

Der Verfasser hat Beobachtungen über das Verhalten der Gaserzeuger nach *Imbert*, nach *J. O. Smith* und nach *Widegren* angestellt mit dem Ergebnis, daß er die Holzkohle gegenüber Holz als Brennstoff für diese Zwecke vorzieht. Die Versuche wurden auf dem Prüfstand und bei längeren Fahrten in Kolonne durchgeführt und erstreckten sich auf den Leistungsabfall gegenüber dem Benzinbetrieb, auf die Anlaufzeit und auf Störungen des Betriebes. An einem Chevroletmotor mit 4 Zylindern von 94 mm Dmr. und 102 mm Hub wurde bei Betrieb mit Gas aus Birkenholz mit 20 bis 30% Feuchtigkeit gemessen, daß der Leistungsabfall gegenüber Benzinbetrieb rd. 40% bei einem Verdichtungsgrad von 4,64 und rd. 20% bei einem Verdichtungsgrad von 6,1 betrug. In bezug auf den Verbrauch entsprach 1 kg Holz etwa 210 g Benzin. Bei den Fahrversuchen war der Verbrauch noch günstiger. Unter den Störungen wird namentlich das plötzliche Nachlassen der Motorleistung erwähnt, das durch das Fehlen des Rostes bei dem Imbert-Gaserzeuger verursacht wird und dann eintritt, wenn die reduzierende Brennstoffschicht zu niedrig ist.

Die Verwendbarkeit dieser Gaserzeuger beschränkt sich in Ländern ohne eigene Quellen von flüssigen Brennstoffen nicht auf Kraftfahrzeuge. Auch bei Schleppern, Straßenwalzen, Booten und kleinen, ortfesten Anlagen kann man davon mit Vorteil Gebrauch machen

Bericht Nr. 352: Note sur l'influence, sur la construction française du moteur d'automobile, des taxes perçues sur les véhicules automobiles (France)
H Dauvergne

Die französische Steuerformel vom Jahre 1908, wonach die Leistung proportional einer Potenz des Zylinderdurchmessers gesetzt wurde, verleitete die Fabrikanten, Motoren mit langerem Hub und für hohe Drehzahlen zu bauen, um die Leistungen ohne gleichzeitige Erhöhung der Steuer steigern zu konnen. Im Jahre 1913 wurde daher eine andere Steuerformel eingefuhrt, wonach die Leistung von Zylinderdurchmesser, Hub und Drehzahl abhangig gemacht war. Diese Formel scheint zunächst keinen Einfluß auf die Konstruktion der Motoren ausgeubt zu haben, doch ergab sich bald, daß es schwierig war, die Hochstdrehzahl des Motors genau zu ermitteln, deren Kenntnis die Formel voraussetzte. Seit dem 11. April 1927 werden daher der Berechnung der Steuerleistungen nach dieser Formel wieder konstante Drehzahlen zugrunde gelegt, die fur schnellaufende Viertaktmotoren 30 U/s und für langsamlaufende Viertaktmotoren 20 U/s betragen.

Zunachst hatte diese neueste Regel wieder zur Folge, daß Motoren mit sehr hoher Drehzahl (bis zu 5000 U/min) gebaut wurden, und dieser Entwicklung waren wichtige Fortschritte des Baues und der Werkstoffe zu verdanken; allein man erkannte bald, daß die hohen Drehzahlen fur die Lebensdauer und das Betriebsgerausch der Motoren ungünstig waren. Außerdem zeigte die steigende Vorliebe der Kaufer für amerikanische Wagen, daß man die Ausgaben für Steuern nicht mehr in dem gleichen Maße scheute wie fruher. Die französischen Fabriken sind daher in neuerer Zeit wieder zu Motoren mit großem Hubraum und niedrigerer Drehzahl ubergegangen, so daß man heute keinen Einfluß der Steuerformel auf die Motorkonstruktion feststellen kann

In einer weiteren Zahlentafel zeigt der Verfasser an Hand der Entwicklung der Motoren mehrerer maßgebender Fabriken, daß sich in dem Zeitraum 1908 bis 1929 fur Motoren der gleichen Steuerleistung die Zylinderdurchmesser nur wenig geandert, dagegen die Hübe wesentlich vergroßert haben.

Bericht Nr 407: Verbrennungskraftmaschinen in der Tschechoslowakei (Tschechoslowakei)
Prof. Dr.-Ing. K. Körner

Mit Ausnahme des Automobil- und Flugwesens liegen die Verhaltnisse für die Anwendung von Verbrennungskraftmaschinen in der Tschechoslowakei ungünstiger als für die Verwendung von Dampfkraftmaschinen Der Grund dafur ist der Mangel an Forschungsstatten sowie an Mitteln und an Forschern. Die Kraftfahrzeugwirtschaft hat dagegen einen sehr großen Aufschwung genommen. Schon jetzt werden jahrlich 20000 Kraftfahrzeuge im Inlande hergestellt. Bemerkenswert ist der Wagen der *Tatra*-Werke, der leer 800 kg wiegt, 4 Personen trägt und dessen mit Luftkühlung arbeitender Zweizylindermotor auf der Straße fur 100 km Fahrt 8 bis 10 l Benzin verbraucht. Besondere

Vorrichtungen zum Sichern der Lager gegen Ölmangel werden bei den Motoren der Firma *Českomorawská-Kolben-Daněk* verwendet Eigene Bauarten von Flugmotoren stellen die *Skodawerke* und die Firmen *Českomorawská-Kolben-Daněk* und *Walther* her. Als besondere Bauart werden liegende Dieselmotoren der *Skodawerke* erwähnt

Entwicklungslinien

Das wichtigste Problem des Kraftwagenverkehrs ist heute wohl die wirtschaftliche Einordnung des neuen Verkehrsmittels in die Reihe der schon vorhandenen Verkehrsmittel. Von der Bedeutung dieser Frage für die gesamte technische Welt kann man eine Vorstellung bekommen, wenn man überlegt, daß mit den mehr als 30 Mill. Kraftwagen, die es heute auf der ganzen Erde gibt, schlecht gerechnet 600 Mill PS an Betriebskraft auf die Straße gesetzt wurden, deren Verkehr seit den Tagen der Erfindung der Dampflokomotive, d. h. seit mehr als 100 Jahren, fast keinen nennenswerten Fortschritt, vor allem keinen Fortschritt in der mechanischen Beförderung aufzuweisen hatte.

Es liegt nahe anzunehmen, daß die Lösung dieses Problems je nach der wirtschaftlichen Lage und der Entwicklung des Verkehrs in den verschiedenen Ländern sehr verschieden ausfallen und daß eine gewisse Zeitspanne notwendig sein wird, um zu der wirtschaftlichsten Lösung zu gelangen Schon jetzt kann man aber sagen, daß das Ziel der wirtschaftlichen Einordnung des Kraftverkehrs in die Reihe der vorhandenen Verkehrsmittel nur erreicht werden kann, wenn mit fortschreitender Entwicklung auch der Kraftverkehr die Mittel zur Verbesserung der Straßen aufbringen kann. In diesem Zusammenhang gewinnen die Verfahren für die Besteuerung der Kraftwagen und die Fragen, ob Zulassungs- oder Betriebsstoffsteuern oder eine Vereinigung beider Arten vorzuziehen sind, erhöhtes Interesse.

Auf die Motoren übergehend, kann man sagen, daß die Versorgung der schnell wachsenden Zahl von Kraftwagen mit ausreichenden Mengen von geeigneten Brennstoffen die Technik in der nächsten Zeit sehr lebhaft beschäftigen wird. Ist auch vorerst diese Frage in erster Linie eine Frage der Beschaffung von leicht verdampfenden Brennstoffen, auf welchem Gebiete die Roholindustrie und die chemische Synthese zur Zeit die wichtigste Rolle spielen, so deuten auch schon die bisherigen Erfolge der Fahrzeug-Dieselmotoren auf einen nicht mehr sehr fernen Umschwung in der gesamten Brennstoffversorgung des Kraftverkehrs, durch den die weniger leicht verdampfenden Gasöle an die Spitze der Bedarfsmengen gebracht werden können

Neben den flüssigen Brennstoffen mineralischen Ursprungs finden auch solche pflanzlichen Ursprungs, namentlich der Spiritus, weite Beachtung. Es fehlt nicht an Fachleuten, die der Ansicht sind, daß man mit den aus der Zellstoffablauge gewinnbaren Spiritusmengen den Bedarf des Kraftverkehrs zu einem großen Teil decken könnte. Dazu kommt, daß in Gegenden mit billigem Holz oder jüngeren Kohlen auch der Betrieb von Kraftwagen mit dem aus solchen Brennstoffen erzeugten Generatorgas wirtschaftliche Vorteile bieten kann.

Eine wichtige Aufgabe der Technik und damit auch der Weltkraftkonferenz ist es, die Erkenntnis der Wirtschaftlichkeit des Kraftverkehrs auf Straßen besonders in solche Länder zu tragen, die im Begriff sind, ihre Verkehrswege zu entwickeln. Hier kann das Kraftfahrzeug dazu dienen, Umwege der Verkehrsentwicklung zu vermeiden, die in Ländern mit älterem Verkehr infolge des gegebenen Fortschritts der Technik nicht vermieden werden konnten.

Diskussionsvorschläge

1. Vorschläge für die wirtschaftliche Eingliederung des Kraftwagenverkehrs in die Reihe der vorhandenen Verkehrsmittel.
2. Erfahrungen über die Wirtschaftlichkeit der Verwendung von festen Brennstoffen für den Kraftwagenbetrieb.

General Report

Aircraft and Automobile Engines

Ministerialdirigent Dr.-Ing. Brandenburg and Dr. Heller

A. Aircraft Engines

Ministerialdirigent Dr.-Ing. Brandenburg

The following papers on high speed Diesel engines have been submitted to the present Conference:—

Paper No. 291: Eine neuere Bauart des raschlaufenden Dieselmotors, insbesondere auch fur Fahrzeugzwecke (Ungarn)
Dipl.-Ing. G. Jendrassik

The chief applications of the design described by *Jendrassik* are to railway and road vehicles, and ships. A weight of 13 kg/HP is too great for aircraft. The type of fuel injection adopted by *Jendrassik* is noteworthy. Open fuel jets of large bore and low injection pressures were adopted for this engine, in order to obtain absolute reliability. The fuel is injected just before top dead centre through an opening in the pre-combustion chamber onto a baffle surface of the piston, and is thereby distributed in the air of the disc shaped combustion chamber in the shape of an inverted umbrella.

The distribution effect of the pre-combustion chamber is assisted by this process, so that the modus operandi again can be described as a combination of the pre-combustion effect and of pressure injection. Instead of the positive cam drive, the injection pump is driven by a spring which is released at the moment of injection The spring is adjusted to a pressure of 150 kg/cm², of which about 80 kg/cm² is expended in injection. By this arrangement the injection pressure is dependent upon the speed of the engine.

A new type of starting process serves to ensure a sufficiently high temperature at the end of the compression stroke for starting; special cams are engaged which open the suction valve only towards the end of the suction stroke. In the first portion of the suction stroke a high partial vacuum accordingly occurs in the cylinder, so that the air flowing in after the suction valve is opened, becomes heated as the pressure increases. Experience has shown that this heating is sufficient to replace the heat abstracted by the walls of the cylinder during the compression stroke.

A six-cylinder aero-engine developing 110 HP at 1000 r.p m. designed on the above principle weighs no more than 13 kg/HP in spite of its

robust construction. These engines have already proved satisfactory in use on railroad vehicles and on ships, as well as for driving small lighting or pumping plants.

Paper No. 55. Die Wirtschaftlichkeit schnellaufender Dieselmotoren in Verkehrsfahrzeugen (Deutschland)
Dipl.-Ing. F. Schultz and collaborators

F. Schultz in his introductory remarks shows how the increasing requirements made of automobile aircraft engines have rendered difficult the development of suitable Diesel engines for these applications and mentions the conditions which a suitable design of Diesel engine must fulfill for use on vehicles. The success obtained in Germany up to date is described, detailed information being given regarding dimensions, outputs, weights and costs of German high-speed Diesel engines. The term high-speed is not defined with reference to any speed but is extended to all motors which correspond in their design and operation to the requisites of light construction. The author does not limit his remarks on the economy of vehicular Diesel engines to operating costs only, but also discusses the behaviour in service of Diesel engines as compared with carburettor engines, particularly with regard to the properties of the exhaust gas, smooth running, reliability, maintenance charges, etc., since it is on these that depends the general introduction of the Diesel engine in vehicles.

The author gives statistics showing that the requirements are satisfactorily fulfilled by the Diesel engine, and that its application to vehicles has already made considerable progress in Germany. Thus there are 245 motor trucks and lorries fitted with Diesel engines of the Aero-Bosch, Daimler-Benz, Deutz, Junkers and MAN type on the roads in Germany and 230 abroad, besides vehicles of a similar kind equipped with other designs of Diesel engines. Further, on the 1st of October, 1929, there were 1882 Diesel locomotives, including 134 mine locomotives, in service. The superiority of the Diesel engine for automobile drives extends not only to the cost of fuel, in which savings of 70 to 80 % are effected as compared with gasoline engines and 15 % as compared with steam operation e. g. on ships, but also to the rapidity with which locomotives and other engines can be started up, as the lengthy period required for heating-up is eliminated, while reversing can be carried out very quickly.

With regard to aerial navigation he considers the Diesel engine to offer special advantages in view of the considerably smaller risk of fire with Diesel oil as compared with gasoline or benzol. The list of accidents occurring in German aerial navigation shows that in 1926 six, in 1927 ten, and in 1928 eleven were caused by fire.

In conclusion the author reviews the future problems confronting designers in this field. Especially prominent amongst these are increase of speeds and mean piston pressures, reduction of the noxious qualities of the exhaust gases, elimination of fumes in the exhaust at maximum loads and greater silence in operation.

That the Diesel engine will be capable of competing with the gasoline engine in aerial navigation in the not too distant future is evident from the fact that Junkers and Packard-Dorner-Diesel engines have recently undergone successful trial flights. The unit weights in this case of 1.4 kg/HP are not much greater than those of existing aircraft engines, so that for long flights the more economical fuel consumption of the former already offers a distinct advantage.

Paper No 6. Beitrag zur Frage der Ausnutzungsmoglichkeiten klopffester Kraftstoffe im praktischen Kraftfahrzeugbetrieb (Deutschland)
Dr.-Ing. O. Enoch

It is on long flights that the fuel consumption acquires increasing importance as compared with the unit weight. It is consequently interesting to follow the methods which have been adopted to reduce the fuel consumption. As already stated the efforts to reduce fuel consumption have been essentially directed towards increasing the compression ratio.

Enoch discusses a number of general considerations concerning the prospects of increasing the compression ratio of automobile engines, based on extensive investigations carried out on the test bench at automobile factories on cars belonging to the Benzolverband. The viewpoints advanced are also applicable to aircraft engines

That increase of compression improves the heat economy of the engine is well known At what maximum compression the improvement is greatest cannot be stated in view of the fact that an engine made by the Bayerische Motorenwerke (B M.W.) has exhibited a considerable increase in the thermal efficiency even with the compression ratio increased eleven times. On the other hand these experiments have solved the problem whether existing engines allow of the compression ratio being increased without thermal or mechanical stresses causing difficulties to continuous operation, so that a seven to eight-fold compression ratio may be considered as permissible with motor trucks or lorries.

The question of the no-knock qualities of an available fuel are of importance. If in the case of pure gasoline we take 4.8 as the limiting compression ratio for motor trucks and 5.2 for automobiles, statistics show that 70 % of the automobiles and 20 % of the motor trucks in America are designed to use pure gasoline whereas, when commercial fuels or gasoline mixed with anti-knocking mixtures are used, a 5.5 to 6.5 compression can be employed.

In conclusion the methods of determining the anti-detonating qualities of fuels and fuel mixtures are discussed in the light of practical tests on engines, and reference is made to estimating the knocking limit of given fuel mixtures.

Paper No. 176· Kraftwagenmotor und Brennstoff und ihre Weiterentwicklung (Österreich)
Dr -Ing. A. A. Herzfeld

Herzfeld considers the light engine from the standpoint of increase in power and economy. There are two methods of effecting this, viz.

increasing the speed and the compression ratio. There are limits to both these possibilities. Considerable difficulties are met with at high speeds due to the moving masses. Accurate balancing of all rotating parts is necessary. In addition, the low starting torque of the high speed engine is a disadvantage, due to the fact that the valve timing at high speeds must allow of considerable excess admission and lead of exhaust, resulting at low speed in an insufficient supply of fuel and uneconomical utilization of the power stroke.

The limit to which the compression can be raised is reached when the motor no longer runs smoothly and begins to knock. The knocking limit is governed on the one hand by the design of the combustion space and on the other hand by the fuel used. As the result of extensive investigations *Herzfeld* suggests a cylinder head similar to the type which *Whatnough* found successful in his experiments

Herzfeld proposes, in order to utilise fuels to greater advantage, that the anti-detonation value measured in accordance with *Ricardo* value should be displayed publicly at filling stations. Automobile manufacturers should state at the same time the minimum anti-detonation value of the fuel required by their cars. This would serve to stimulate the improvement of fuels.

Paper No. 324. The Position of Research on the Light Petrol Engine. Notes on the Position of Research in Great Britain (Great Britain)
H. S Rowell and C. G. Williams

Rowell and *Williams* give a review of literature dealing with research work on light engines. The paper covers research work carried out in Great Britain in recent years on the construction of light engines. The contents of the literature mentioned are already known to some extent in Germany while many points raised in them should form interesting items of discussion at the meeting.

Trend of Development

There is so much reserve in publishing information on aero-engines that only two papers—Italian in both cases—have been received, both, however, too late to be included in the general report. At the same time, it is to be hoped that the discussion of aircraft engines will make up for this. The papers dealt with in the general report on automobile engines contain much information which may be applied to aircraft engines.

I trace the above mentioned reserve with regard to the presentation to the World Power Conference of papers on aircraft engines to two main sources In the first place aircraft engine design is at a stage where considerably more rapid development is possible than is the case with automobile engines. Improvements and innovations are of almost daily occurrence. In addition, this field of engineering is controlled in most countries by the war departments of the individual governments, which

also accounts for the disinclination to publish information on improvements and inventions still in the experimental stage.

You are aware that, in view of the restrictions imposed by the Versailles Treaty, these considerations do not apply to Germany. For this reason these problems are dealt with publicly by the German Experimental Institute of Aerial Navigation and the Scientific Society for Aeronautics. I will accordingly only discuss the publications of these bodies quite briefly, as I presume that you are already acquainted with them.

In the first place I would like to give a short outline of the chief problems connected with aircraft engines design; the reduction of the unit weight, greater reliability, and reduction of fuel consumption constitute the underlying problems with which the designer will be called upon to deal in developing aircraft engines; these requirements are to some extent contradictory and necessitate compromises, in which the calculations and perhaps the personal bias of the designer are of particular importance.

Excellent progress has been made in weight reduction from the very commencement of development Aerial navigation adopted automobile practice in the selection of aircraft engines. The unit weight was originally 4 kg/HP though it soon became possible to reduce it to 1 5 to 2 kg/HP Progress after the War in this connection was still more rapid and engines weighing 1.0 to 0.6 kg/HP are now usual.

Though the progress made in the unit weight of aircraft engines is self-evident, it is extremely difficult to give an opinion on the improvements that have been made with regard to the reliability of aircraft engines It may, in general, be stated that the reliability of aircraft engines has increased, though whether the increase has been progressive during the last decade cannot be estimated from statistics dealing with accidents, since during the first half of the decade the engines used were designed chiefly for military service, where indeed they were not actually built by armament firms. Unless I am deceived efforts have been made everywhere to increase the reliability of aircraft engines by not making maximum reduction of the unit weight the principal aim The reasons for this are particularly sound. *Kamm* in a lecture on the design of aircraft engines emphasized the fact that greater reliability is much more essential than a minimum unit weight for the creation of an air service on sound commercial lines. After thorough consideration of the problem, he comes to the conclusion that the continuous output should be reduced to half the peak output in the future In order that the question of weight may not assume an unsatisfactory and retrograde tendency, the peak output which has to be maintained during test runs of some hours could represent at the time the load limit

Owing to the great influence which the fuel consumption has on the whole driving parts, particularly in long flights (a saving in fuel consumption of 10 g per HP is equivalent to a saving in weight of 100 g per HP for a ten hour flight), attention has been given to reducing the fuel consumption of aircraft engines, although the actual price of fuel is of secondary importance as compared with the other costs.

The methods so far adopted to reduce fuel consumption consist essentially in increasing the compression ratio The papers submitted by *Enoch* and *Herzfeld* to the present Conference deal with this question.

Two essentially different types of aircraft engine may be distinguished —air-coled and water-cooled engines. Until a few years ago the water-cooled type was the one most frequently met with in Germany. Since the heat developed can be controlled most conveniently by water-cooling, this type is superior to the air-cooled engine both with regard to reliability and fuel consumption. Since then the contest, which has developed between the two types, has in all cases gone in favour of the air-cooled engine for smaller and medium sized aircraft.

So much experience has been acquired as the result of systematic research work that it is now possible directly to cool the cylinder with a current of air with smaller and medium sized units as adequately as by the indirect method with water circulation, quite apart from the advantage of the air-cooled engine in the matter of weight reduction. It may also in general be considered more reliable, as leakage in the pipe joints of water-cooled engines has frequently been the cause of forced landings.

A disadvantage of the air-cooled engine nowadays is the great frontal resistance offered by the radial engine . Further owing to its large diameter the radial engine blocks a considerable portion of the field of vision The arrangement of the cylinders in line is better, both with regard to frontal resistance and field of sight from the pilot's cockpit. Though this arrangement is being widely adopted for the smaller types of engine the air-cooling of medium-sized units still presents certain difficulties.

Thanks to the improved field of view the suspended type of engine, arranged in I, V, and W formation has recently become popular.

The considerable progress made in water-cooled engines by the use of a cooling medium with a high boiling point is a subject of frequent discussion today. Its advantages are obvious The greater difference in temperature between the cooling medium and the air requires only a small radiator, and consequently less cooling liquid. This results in the reduction of the resistance and weight The disadvantage is that a suitable cooling medium with a high boiling point such as ethylene or glycol, is more difficult to procure and more costly.

Even nowadays the safety of aircraft is still much influenced by the great danger of fire owing to the inflammability of the engine fuel-benzine. The introduction of heavy oils as fuels would, therefore, represent a considerable advance. It has so far not been possible to employ heavy oils in conjunction with carburettor engines operating under such high loads as aircraft units owing chiefly to the oil becoming thin. The Diesel process would accordingly offer greater promise. There is little fear of the oil becoming thin, as the fuel undergoes combustion immediately after injection In addition, fuel consumption is considerably less with the solid injection method employed with Diesel engines

Recently a number of almost forgotten possibilities of improving fuel consumption have been under discussion, based on the fact that the exhaust gases of carburettor and Diesel engines possess a pressure above

atmospheric of several at at the end of the expansion stroke, which is not utilized.

There are several possibilities of reducing this loss, such as shortening of the suction stroke by closing the inlet valve earlier, subjecting the exhaust gases to pressure in a low pressure cylinder or an exhaust gas turbine, and variations of these methods.

The first two methods have the disadvantage that reduction of the specific fuel consumption is only to be obtained at the expense of a considerable increase in the unit weight, for to obtain appreciable results, the expansion must be forced up to at least twice the volume of the suction stroke. It is true, a general reduction in the load is obtained in the first instance. The possibility exists, by altering the inlet timing, of temporarily obtaining considerably higher power outputs, for example at starting, by increasing the quantity of fuel injected. Thus, more economical regulation of the fuel supply would be obtained by this method instead of by strangling. A similar effect might be obtained by the use of reliable exhaust gas turbines.

Points for Discussion

In order to stimulate the discussions, which are the main object of the present Conference, we will once more summarize the problems raised in the papers presented and the present stage of development of engines.

1. Is the reliability of aircraft engines sufficient for the requirements of aerial navigation nowadays? Are the systems of transmission, lubrication and ignition reliable?

2. Will the Diesel engine be able to replace the present carburettor engine without leading to an appreciable increase in the weight? Does the Diesel engine, which possesses distinct advantages in view of the inflammability of the fuel used, offer greater risk of breakdown owing to the mechanical and heat stresses involved?

3. Will the air-cooled engine displace in the long run the liquid-cooled unit, or will each find the particular field of use, for which it is especially suited (e. g. long distance flights, high output for indirectly cooled engines), once development is complete?

4. Will the addition of anti-knocking agents to the fuel serve to reduce the fuel consumption or are the disadvantages connected with the use of anti-knocking agents such as the poisonous qualities of lead tetraethyl, deposition of solid constituents in this case of iron carbonyle, so considerable that this method cannot be adopted?

5 Can the economy of the aircraft engine be raised by extending the period of expansion?

B. Automobile Engines

Dr. Heller

In addition to the papers dealt with by the general reporter for aero-engines the present general report on automobil engine design covers the following papers.

Paper No. 392: Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit des Transportes mit Eisenbahn und Kraftwagen in Argentinien (Argentinien)
Dipl.-Ing. W. Wagner

The object of this paper is the determination of the economic limits of these two forms of transportation and so to eliminate unnecessary competition. It is limited to the lower-lying part of Argentina, such as make up four-fifths of the country Calculation of the cost of transport by automobiles based on figures taken from two Argentine concerns is extended to vehicles of 1.5 and 5 t with and without trailer, and to well-kept clay roads and surfaced high roads. To the costs thus obtained, which include sums allocated to profits and administrative expenses, are added 10% of the net costs. The results take into account loss of time in loading and unloading, and are represented in the form of diagrams showing the costs of transporting 1 t in relation to the distance The costs of transport on the railways for various tariffs or classes of goods are similarily plotted, so that it is possible, by comparing the diagrams, to ascertain the limits to the possible utilisation of these two methods of transportation, always assuming that the conditions are otherwise similar.

It is further shown that the effect of the reloading costs is to render the automobile a more economical means of transport Moreover, automobile transport is a better paying proposition than purely railroad transport, providing the distances are restricted to 50—200 km for goods of classes 1—10, or 20—50 km for goods of the reduced tariff classes.

Paper No. 338: Erfahrungen mit Kraftgas aus Holz fur Automobile (Finnland)
Prof. H. Kyrklund

The difficulties presented in the operation of vehicles driven with power gas produced from solid fuels consisted originally in the inertia of the gas producer and in the relative impurity of the gas. When wood was employed as fuel it was possible to restrict the heat of combustion to a small space and so partially to overcome the inertia of the generation of gas. It has been possible, by employing gas producers with return flow of the gases, to decompose in the combustion space all tar impurities of the gas elvolved. Practically all gas producers for automobiles are built on this principle.

The author has carried out tests on *Imbert*, *J. O Smith* and *Widegren* fas producers, with the result that he finds charcoal preferable as a fuel gor this purpose The tests were carried out on the test-bed as well as during fairly long road trials, and extended to the drop in power as compared with operation with gasoline, to starting time, and to disturbances in operation It was found on a four-cylinder (94 mm bore and 102 mm stroke) Chevrolet motor, operated with gas produced from birch wood of 20—30% humidity that the power drop, as compared with gasoline operation, amounted to about 40% with a compression ratio of 4.64, and to about 20% with a compression ratio

of 6.1 With regard to consumption, 1 kg of wood corresponds to about 210 g of gasoline. The consumption was even more economical on the road tests Amongst disturbances we may mention the sudden falling-off in power caused by the absence of the grate in the case of the *Imbert* gas producer, occurring when the reducing layer of fuel is too thin

The sphere of use of these gas producers is not limited to automobiles in countries which do not possess their own supply of liquid fuels They can also be used to advantage on tractors, road rollers, boats and small stationary plants

Paper No 352: Note sur l'influence, sur la construction française du moteur d'automobile, des taxes perçues sur les véhicules automobiles (France)
H Dauvergne.

The formula on which the French automobile tax of 1908 was based made the power proportional to a certain power of the cylinder bore, and led manufacturers to construct engines with a longer stroke and for higher speeds, in order to raise the power output, without, at the same time, a higher tax being entailed. In 1913 another tax formula was accordingly introduced, in which the output was made dependent upon the cylinder bore, the stroke and the speed. This formula would appear at first to have been without any influence on the engine design, though it was soon found difficult accurately to determine the max. speed of the engine, which the formula assumed to be known Since the 11th of April 1927 the calculation of the power tax according to this formula has been based on constant (fixed) speeds, amounting to 30 revs. per sec. for high speed four-stroke engines, and 20 revs per sec for low speed four-stroke engines.

These latest regulations at first resulted in the construction of extremely high-speed engines (up to 5000 r. p. m.), a development responsible for much important progress in construction and materials; however, it was soon recognized that high speed affected the life and silent running of the engine. Further, the increasing preference of purchasers for American cars showed that tax expenses are not feared as much anymore. French factories have, therefore, recently readopted the construction of motors with a large stroke volume and low speeds, so that the tax formula can no longer be said to play any part in engine design

The author further gives a table showing the development of engines built by several prominent factories, which indicates that from 1908 to 1929 the cylinder bore has varied but little for motors subject to the same power tax, while the length of the stroke has increased considerably.

Paper No. 407· Verbrennungskraftmaschinen in der Tschechoslowakei (Tschechoslowakei)
Prof Dr.-Ing. K Korner

Conditions in Czechoslovakia favour the use of steam engines in lieu of internal combustion engines, automobile and aero-engines excepted. The reason for this is the lack of research facilities, financial means,

and research engineers. The use of automobiles has, on the other hand, increased very considerably 20,000 automobiles are now manufactured annually in Czechoslovakia The four-seater car, with air-cooled twin-cylinder engine, built by the Tatra Works is noteworthy in that, when empty, it weighs only 800 kg, and has a consumption of 8 to 10 l of gasoline per 100 km. Special devices are incorporated to prevent insufficient lubrication in the motors built by the *Českomorawská-Kolben-Daněk* Company. The *Skoda*-Werke as well as the *Českomorawská-Kolben-Daněk* and *Walther* Companies manufacture their own designs of aero-engines. Mention is made of a special design of horizontal Diesel engine made by the *Skoda*-Werke.

Trend of Development

The most important problem in connection with automobile traffic nowadays is probably the inclusion of this new means of transport within the economic range of existing forms of transportation. An idea may be obtained of the importance of this question for the whole engineering world if we remember that, with the 30,000,000 automobiles distributed over the globe to-day a power output of at least 600,000,000 HP, has heen put on the roads traffic conditions on which have made practically no progress since the invention of the steam engine more than 100 years ago, particularly with regard to mechanical transport

It may safely be assumed that the solution of this problem will vary considerably according to economic conditions and the development of traffic in different countries, and that a certain interval of time must elapse before the most economical solution is obtained It can, however, be stated even now that the object of the economic inclusion of automobile traffic within the range of existing methods of transportation can only be attained when automobile traffic, as it progresses, can at the same time provide means for improving the roads. In this connection increased importance attaches to the taxing of automobiles and the question of whether taxes should be levied on driving licenses or on fuel or on a combination of both.

Passing to automobile engines it can be stated that the supply of suitable fuels in sufficient quantities for the rapidly increasing number of vehicles on the roads will occupy the serious attention of engineers in the immediate future. Though the problem is primarily a question of discovering highly volatile fuels, in which the crude oil industry and synthetic chemists are at the present time chiefly concerned, the success already obtained with Diesel engines on vehicles points to an impending, revolutionary change with regard to the whole fuel supply for automobile transport, which may well render the less volatile gas oils the most important as regards the quantities required In addition to the liquid fuels of mineral origin, vegetable fuels, particularly alcohol, are receiving great attention In the opinion of not a few specialists, the greater part of the demand for fuel can be covered by alcohol obtained from cellulose waste liquor. Further, in districts where cheap

wood or the lignite varieties of coal are available, the use of producer gas obtained by means of these fuels is capable of offering economic advantages.

An important problem with which engineering, and consequently the World Power Conference, has to deal, is to disseminate knowledge of the economic aspects of automobile traffic, particularly in such countries as are about to develop their communications, in order that they may not follow the circuitious developments of countries possessing older traffic systems which these could not avoid owing to the actual development of engineering.

Points for Discussion

1. Suggestions for the economic inclusion of automobile transport within the range of existing methods of transportation
2. Experience as to the economy of using solid fuels for automobiles.

Rapport Général

Moteurs d'avions et d'automobiles

Ministerialdirigent Dr.-Ing. Brandenburg et Dr. Heller

A. Moteurs d'avions

Ministerialdirigent Dr.-Ing. Brandenburg

Deux rapports présentés à la session actuelle se sont occupés du moteur Diesel à grande vitesse:

Rapport No. 291: Eine neuere Bauart des raschlaufenden Dieselmotors, insbesondere auch fur Fahrzeugzwecke (Ungarn) Dipl.-Ing. G. Jendrassik

Le système décrit par *Jendrassik* n'entre en considération que pour des chemins de fer, des bateaux et des véhicules. Le poids de 13 kg/CV est trop élevé pour des avions. Le système d'injection choisi par *Jendrassik* est très intéressant. Pour assurer le fonctionnement, on a choisi dans ce moteur des tuyères d'injection à grandes ouvertures. Le combustible est injecté tout juste avant le point mort, par une ouverture du compartiment de culasse, contre une surface bombée du piston, ce qui le distribue en une nappe qui a la forme d'une coupe, dans la chambre de combustion.

Ce procédé favorise l'action répartitrice du compartiment de culasse, ce qui fait que le fonctionnement de la machine réunit à la fois l'injection sous pression et l'injection à aiguille. Pour la pompe d'injection on a préféré un ressort qui est libéré au moment de l'injection à la commande forcée par cames. Le ressort est réglé pour une pression de 150 kg/cm² desquels environ 80 kg/cm² sont utilisés par l'injection. De cette façon la pression d'injection est rendue indépendante de la vitesse.

Un nouveau procédé de démarrage sert à assurer une température suffisante à la fin de la course de compression pendant le démarrage, on introduit des cames spéciales qui n'ouvrent les soupapes d'admission que vers la fin de l'aspiration De cette façon il se produit une grande sous-pression au début de l'aspiration, l'air qui se précipite dans le cylindre après l'ouverture de la soupape s'échauffe en se comprimant L'expérience a montré que cet échauffement suffit pour remplacer la chaleur perdue par les parois lors de la course de compression

Une machine à 6 cylindres qui a été construite d'après ce système, avec une puissance de 110 CV pour 1000 t/m ne pèse que 13 kg/CV, malgré la construction solide et résistante. Ces moteurs ont déjà été employés avec succès sur les chemins de fer et les navires, et ils ont prouvé convenir à actionner de petites usines électriques pour l'éclairage, ou des installations de pompage.

Rapport No 55. Die Wirtschaftlichkeit schnellaufender Dieselmotoren in Verkehrsfahrzeugen (Deutschland)
Dipl.-Ing. F. Schultz et collaborateurs

Dans son introduction, *F. Schultz* montre comment les exigences croissantes des véhicules automobiles et des avions ont rendu plus difficile la construction de moteurs Diesel appropriés, et quelles conditions une construction de Diesel convenant aux véhicules automobiles doit remplir. Il se base sur des renseignements numériques très bien fournis concernant les dimensions, la puissance, le poids et le coût des moteurs Diesel allemands rapides pour montrer jusqu'à quel point on y est arrivé en Allemagne. La conception de grande vitesse n'est pas liée à quelque vitesse bien déterminée, mais est étendue à tous les moteurs qui satisfont aux conditions de la construction légère tant par leur mode de construction que par leur fonctionnement. De même, l'auteur ne réduit pas ses considérations concernant les avantages économiques du moteur Diesel, seulement aux seuls frais de fonctionnement, auxquels il faut aussi joindre les intérêts et les amortissements, mais il tient aussi compte de la comparaison du service du moteur Diesel avec celui des moteurs à gaz de gazogène en particulier, les propriétés des gaz d'échappement, la tranquillité de marche, la sécurité, les frais d'entretien, etc., parce que l'usage général du moteur Diesel dans les véhicules en dépend

L'auteur se sert de chiffres pour montrer que ces conditions sont aussi bien remplies par le moteur Diesel, et que l'emploi du Moteur Diesel dans les véhicules a déjà pris une grande extension en Allemagne. C'est ainsi qu'en Allemagne il y a 245, à l'étranger 230 camions automobiles à moteurs Diesel des systèmes Acro-Bosch, Daimler-Benz, Deutz, Junkers et MAN, outre des 65 véhicules de ce genre avec moteurs Diesel d'autres systèmes. En outre, au 1 octobre 1929 il y avait en tout 1882 locomotives en service, dont 134 locomotives d'extraction. L'avantage du moteur Diesel pour les engins de transport ne réside pas seulement dans les frais réduit de combustible, qui donnent une économie de 70 à 80% en rapport avec les moteurs à benzine, et de 15% en rapport avec la locomotion à vapeur, par ex., sur les bateaux, mais aussi dans la rapidité de mise en marche, à cause de la suppression d'un chauffage préalable prolongé du moteur, et du changement de marche rapide

En ce qui concerne l'aviation, l'auteur distingue un avantage particulier dans le danger effectivement moins grand d'incendie, en comparaison avec la benzine et le benzol. Des statistiques d'accidents de ces dernières années, il apprend qu'il y a en 1926 six, en 1927 dix et en 1928 onze incendies dans l'aviation allemande.

Enfin, l'auteur examine les problèmes de l'avenir posés au constructeur dans ce domaine Il faut compter particulièrement parmi eux l'augmentation du nombre de tours et les pressions moyennes du cylindre, la diminution de la nocivité des gaz d'échappement, la suppression de la formation de fumées dans l'échappement dans les charges maxima et la diminution du bruit du fonctionnement

Rapport No. 55: Die Wirtschaftlichkeit schnellaufender Dieselmotoren in Verkehrsfahrzeugen (Deutschland)
Dipl.-Ing. F. Schultz et collaborateurs

Dans son introduction, *F. Schultz* montre comment les exigences croissantes des véhicules automobiles et des avions ont rendu plus difficile la construction de moteurs Diesel appropriés, et quelles conditions une construction de Diesel convenant aux véhicules automobiles doit remplir. Il se base sur des renseignements numériques très bien fournis concernant les dimensions, la puissance, le poids et le coût des moteurs Diesel allemands rapides pour montrer jusqu'à quel point on y est arrivé en Allemagne. La conception de grande vitesse n'est pas liée à quelque vitesse bien déterminée, mais est étendue à tous les moteurs qui satisfont aux conditions de la construction légère tant par leur mode de construction que par leur fonctionnement De même, l'auteur ne réduit pas ses considérations concernant les avantages économiques du moteur Diesel, seulement aux seuls frais de fonctionnement, auxquels il faut aussi joindre les intérêts et les amortissements, mais il tient aussi compte de la comparaison du service du moteur Diesel avec celui des moteurs à gaz de gazogène en particulier, les propriétés des gaz d'échappement, la tranquillité de marche, la sécurité, les frais d'entretien, etc., parce que l'usage général du moteur Diesel dans les véhicules en dépend.

L'auteur se sert de chiffres pour montrer que ces conditions sont aussi bien remplies par le moteur Diesel, et que l'emploi du Moteur Diesel dans les véhicules a déjà pris une grande extension en Allemagne. C'est ainsi qu'en Allemagne il y a 245, à l'étranger 230 camions automobiles à moteurs Diesel des systèmes Acro-Bosch, Daimler-Benz, Deutz, Junkers et MAN, outre des 65 véhicules de ce genre avec moteurs Diesel d'autres systèmes. En outre, au 1 octobre 1929 il y avait en tout 1882 locomotives en service, dont 134 locomotives d'extraction. L'avantage du moteur Diesel pour les engins de transport ne réside pas seulement dans les frais réduit de combustible, qui donnent une économie de 70 à 80% en rapport avec les moteurs à benzine, et de 15% en rapport avec la locomotion à vapeur, par ex., sur les bateaux, mais aussi dans la rapidité de mise en marche, à cause de la suppression d'un chauffage préalable prolongé du moteur, et du changement de marche rapide.

En ce qui concerne l'aviation, l'auteur distingue un avantage particulier dans le danger effectivement moins grand d'incendie, en comparaison avec la benzine et le benzol. Des statistiques d'accidents de ces dernières années, il apprend qu'il y a en 1926 six, en 1927 dix et en 1928 onze incendies dans l'aviation allemande.

Enfin, l'auteur examine les problèmes de l'avenir posés au constructeur dans ce domaine. Il faut compter particulièrement parmi eux l'augmentation du nombre de tours et les pressions moyennes du cylindre, la diminution de la nocivité des gaz d'échappement, la suppression de la formation de fumées dans l'échappement dans les charges maxima et la diminution du bruit du fonctionnement.

Le fait que, dernièrement les avions pourvus de moteur Diesel, Junkers et Packard-Dorner ont fait avec succès leur vol d'essai prouve que le moteur Diesel pourra, dans un temps relativement proche entrer en compétition pour l'aviation. A celà il faut ajouter que le poids unitaire d'environ 1,4 h/CV n'est pas beaucoup plus élevé que celui des moteurs d'aviation actuels, ce qui fait que dès à présent il y a un avantage important pour les vols à longue distance, en considération de la consommation plus économique.

Rapport No. 6: Beitrag zur Frage der Ausnutzungsmöglichkeiten klopffester Kraftstoffe im praktischen Kraftfahrzeugbetrieb (Deutschland)
Dr.-Ing O. Enoch

Justement dans les vols à longue distance, la consommation de combustible acquiert une grande importance vis-à-vis du poids unitaire En conséquence, il est intéressant de rechercher les moyens de diminuer la consommation. On essaie en fait de la diminuer en augmentant le rapport de compression.

Enoch expose une série de points de vue généraux concernant les perspectives d'avenir de l'augmentation de la compression dans les moteurs d'automobiles, en se basant sur des recherches étendues faites sur le banc d'épreuves d'usines d'automobiles, sur des véhicules à moteur de l'Union du Benzol, le même que sur des moteurs de propriétaires Ces considérations sont aussi applicables aux moteurs d'avions

On sait que l'on améliore le rendement thermique du moteur en augmentant le rapport de compression. On ne peut encore dire pour quelle valeur de ce rapport cette amélioration sera maximum, vu qu'un moteur des Bayerische Motorenwerke a encore accusé un accroissement de rendement, même pour un rapport de compression de 11.

Mais, d'autre part, ces essais répondent à la question si les moteurs existants permettent une augmentation de la compression, du fait que ni la sollicitation thermique, ni la sollicitation mécanique n'ont donné lieu à des inconvénients en service de régime, ce qui fait que l'on peut considérer comme admissible une compression de 7 à 8 pour les camions automobiles.

Ce qui est important, c'est la considération des combustibles au point de vue de la tendance au cognement, si on admet pour les camions automobiles un rapport de compression-limite de 4,8 pour l'essence pure, et de 5,2 pour les voitures automobiles, les statistiques montrent qu'en Amérique il y a encore 70% des voitures automobiles et 20% des camions qui sont construits pour le fonctionnement à la benzine pure. Si on emploie des carburants commerciaux ou de la benzine mélangée à des anti-détonnants, on peut atteindre 5,5 à 6,5

Enfin l'auteur examine les procédés de détermination du point de détonation des carburants et des mélanges par l'essai pratique au moteur et la détermination préalable de la limite de détonation de mélanges donnés

Rapport No. 176: Kraftwagenmotor und Brennstoff und ihre Weiterentwicklung (Österreich)
Dr.-Ing. A. A. Herzfeld

Herzfeld examine le moteur léger du point de vue de l'augmentation de la puissance et de son économie. Pour atteindre ce but, on peut employer deux moyens: l'augmentation du nombre de tours et l'élévation du rapport de compression. Cependant, ces deux possibilités sont limitées Les forces d'inertie donnent lieu à de grandes difficultés dans les grandes vitesses. Il est très important d'équilibrer exactement toutes les pièces tournantes. En outre, la faible puissance de démarrage du moteur rapide est très désavantageuse pour la locomotion automobile. Elle résulte du fait que les ouvertures des soupapes doivent admettre un grand retard à la fermeture, lors de l'admission et une grande avance à l'ouverture de l'échappement à cause des grandes vitesses, ce qui donne lieu, aux petites vitesses à un remplissage faible et à une mauvaise utilisation de la course motrice.

La limite de la compression est due à ce que le moteur commence finalement à cogner, et ne fonctionne plus tranquillement La limite est donnée d'une part par la construction de la chambre de combustion, d'autre part par le choix du combustible. *Herzfeld* propose une culasse, en se basant sur des recherches sérieuses, d'une forme analogue à celle qui a prouvé être favorable par des essais de *Whatmough* faits assez récemment.

Herzfeld propose d'afficher, aux lieux où on vend les essences, la valeur du point de détonation, mesurée d'après l'indice de *Ricardo,* afin que les combustibles soient utilisés plus efficacement En même temps, les fabricants d'automobile devraient faire savoir quel est le minimum du point de détonation admissible avec leur moteur. De cette façon il y aurait un encouragement de plus pour l'amélioration des combustibles.

Rapport No 324: The Position of Research on the Light Petrol Engine. Notes on the Position of Research in Great Britain (Great Britain)
H. S. Rowell and C G. Williams

Rowell et *Williams* ont donné une revue de la littérature scientifique concernant l'état des recherches au sujet des moteurs légers. Le rapport est un résumé des travaux de recherche publiés en Angleterre pendant ces dernières années. Leur contenu est déjà connu en partie, en Allemagne, et il est à espérer qu'il conduira en beaucoup de points à une discussion intéressante.

Développement

Il y a une telle retenue dans les publications concernant les moteurs d'aviation que même les deux rapports italiens annoncés ne sont pas arrivés à temps pour être utilisés dans la rédaction des rapports généraux. Entretemps, nous espérons que la discussion concernant les moteurs d'avions remplacera ce qui manque en fait de documents écrits. Nous

avons extrait des autres rapports concernant les moteurs de véhicules ce qui était applicable aux moteurs d'aviation.

J'attribue cette répugnance à faire des publications concernant les moteurs d'avions pour la Conférence Mondiale de l'Energie à deux causes principales: d'une part la construction des moteurs d'avions est encore dans une période de développement plus rapide que celle des moteurs d'autos. Ce qui est bon et moderne pour l'instant, dans ce domaine, sera dépassé demain par quelque chose de plus moderne et de meilleur. En outre, cette branche de la technique sert dans la plupart des pays à la défense nationale, ce qui fait qu'il est compréhensible que l'on soit réservé dans la rédaction de rapports destinés à la publication, et concernant des nouveautés à l'état de projet ou à l'essai.

Vous savez que l'Allemagne n'a pas de préoccupation de cette espèce par suite des conditions du Traité de Versailles. De là, il résulte que le laboratoire d'essais pour l'aviation et la Société scientifique pour l'aviation ont traité ces problèmes dans des ouvrages publiés Aussi je ne veux rappeler que brièvement cette documentation que je suppose connue.

Je voudrais délimiter les problèmes principaux de la construction des moteurs: la réduction du poids unitaire, l'augmentation de la sécurité et la diminution de la consommation sont les principes qui posent au constructeur des problèmes pour le développement des moteurs d'aviation, lesquels problèmes ne sont pas sans contradictions essentielles, et qu'il faut donc tâcher de résoudre par des compromis, pour lesquels le calcul et peut-être aussi le sentiment du constructeur sont d'une importance effective.

En ce qui concerne la diminution du poids, on a fait dès le début du développement des progrès satisfaisants. L'aviation a emprunté son moteur à l'automobilisme, de cette façon elle disposait d'un moteur pesant 4 kg/CV On a pu réduire très rapidement ce poids jusque 1,5 à 2 kg/CV. Après la guerre, on a fait des progrès rapides ce qui fait qu'actuellement des moteurs de 1,0 à 0,6 kg/CV sont courants.

Alors qu'il est très facile de constater la diminution du poids unitaire des moteurs d'aviation, il est très difficile de se faire un jugement au sujet de la modification de leur sécurité. Ici, on peut dire en général qu'elle a augmenté; mais même par l'étude la plus sérieuse des statistiques d'accidents on ne peut dire si on a fait des progrès continus en ce sens pendant les dix dernières années, parce que tout au moins pendant la première moitié de cette décade, on employait encore dans le trafic aérien des avions qui, s'ils ne sortaient pas des arsenaux militaires, étaient cependant construits en lieu principal dans des buts militaires. Mais, si je vois clair, les tendances sont partout dirigées vers le but d'augmenter à tout prix la sécurité, même s'il en résulte une légère augmentation du poids unitaire. Les raisons en sont particulièrement pertinentes. *Kamm* insistait dans une conférence sur la construction des moteurs d'aviation sur le fait qu'actuellement il était plus important pour la création d'un trafic aérien économique d'augmenter la sécurité que de diminuer le poids. En se basant sur des considérations sérieuses

il arrive à la conclusion que la puissance de régime doit être ramenée à la moitié de la puissance maximum Afin que la question du poids ne constitue pas une entrave ni une régression du progrès, la puissance maximum à conserver pendant des vols d'essai de quelques heures pourrait aussi représenter la limite de la résistance à la sollicitation

A cause de la grande influence que la consommation d'essence a, surtout lors de longs vols, sur tout le mécanisme, — pour un vol de 10 heures, une économie de combustible de 10 g/CH est équivalente à une réduction du poids du moteur de 100 g/CV — on fait aussi attention à la réduction de la consommation dans la construction des moteurs d'aviation, quoique le prix du combustible proprement dit n'ait pas une importance primordiale en comparaison avec les autres frais du vol.

Les moyens actuellement réalisés pour diminuer la consommation sont en fait constitués par l'augmentation du rapport de compression. Les rapports d'*Enoch* et de *Herzfeld* s'occupent aussi de cette question.

On peut distinguer en réalité deux types parmi les moteurs d'aviation: ceux qui sont refroidis à l'air et ceux qui sont refroidis à l'eau. Jusqu'il y a quelques années on trouvait le plus fréquemment des moteurs refroidis à l'eau, en Allemagne Comme le réglage de la température est le plus facile avec le refroidissement à l'eau, ces moteurs étaient supérieurs aux moteurs refroidis à l'air tant au point de vue de la sécurité que de la consommation. Depuis, il y a une concurrence entre les deux systèmes qui est favorable au refroidissement à l'air pour les faibles et les moyennes puissances, dans presque tous les domaines.

Depuis que les travaux systématiques d'investigation ont conduit à suffisamment d'expériences pour qu'avec les petites et les moyennes unités le refroidissement direct des cylindres par l'air soit rendu aussi sur que le refroidissement indirect par l'eau, le moteur qui possède le premier système est supérieur au second à cause d'un poids moindre. La sécurité est en général estimée plus grande, vu que des fuites aux raccords des tubes de moteurs refroidis à l'eau ont souvent été la cause d'atterrissages forcés.

Cependant un inconvénient de ces moteurs est la grande résistance à l'avancement inhérente à la construction en étoile En outre le moteur placé à l'avant voile une grande partie du champ visuel. La construction en série semble plus favorable tant au point de vue de la résistance à l'avancement que du champ visuel du pilote. Aussi, on emploie de plus en plus, actuellement, et pour de petites puissances le moteur série refroidi à l'air. Le refroidissement à l'air du moteur série de moyenne puissance donne encore lieu à des difficultés. A cause de l'amélioration du champ visuel, la construction suspendue des moteurs I, V et W devenue favorisée en ces derniers temps mérite notre attention.

Dans le domaine des moteurs refroidis à l'eau, on atteint souvent un progrès par l'emploi de liquides refroidissants à point d'ébullition plus élevé. On conçoit sans difficulté l'avantage de cette mesure. La plus grande différence de température entre l'air et le liquide réfrigérant exige des dimensions plus petites du radiateur et donc, une quantité moins grande de liquide. De là une diminution de résistance à l'avance-

ment et de poids. L'inconvénient est que le liquide de refroidissement est plus difficile à obtenir, et plus cher, citons par exemple le glycoléthylène.

La sécurité de l'aviation subit actuellement encore une mauvaise influence de la part du danger d'incendie qui menace le carburant, c'est-à-dire la benzine Aussi, si on pouvait utiliser des huiles lourdes on aurait réalisé un progrès important. On n'est pas encore parvenu à employer des huiles lourdes dans des carburateurs pour des moteurs avec une charge aussi forte que le sont les moteurs d'avions, surtout à cause du mélange avec l'huile de graissage. C'est pour cela qu'on prévoit un bon avenir pour le moteur Diesel. On ne doit pas craindre pour lui le mélange avec l'huile de graissage, parce que le combustible brûle immédiatement après l'injection. En outre la consommation est beaucoup plus modérée qu'avec un moteur à carburateur.

Récemment on a discuté aussi quelques possibilités oubliées, pour l'amélioration de la consommation. Elles se basent sur le fait que les gaz d'échappement des moteurs à explosion et à combustion possèdent encore une pression de plusieurs atmosphères à la fin de la course motrice, qui s'échappe sans effet utile. On peut employer différents moyens pour réduire ces pertes: diminuer le volume d'aspiration, p. ex par la fermeture prématurée de la soupape d'aspiration, la détente subséquente des gaz d'échappement dans des cylindres à basse pression ou dans une turbine à gaz d'échappement et des variantes de ces méthodes.

Les deux premiers procédés ont le défaut de faire payer la diminution de consommation par une augmentation du poids unitaire; car, pour atteindre un résultat sensible, il faut que l'expansion se fasse sur un volume double du volume aspiré. En tout cas, on atteint dans le premier cas une diminution de la charge imposée au moteur. On aurait même la possibilité, en modifiant le temps d'aspiration, d'atteindre des puissances plus grandes, par un remplissage plus grand, p. ex. lors du démarrage.

On pourrait donc régler plus économiquement par le remplissage que par l'étranglement. On pourrait aussi atteindre un résultat analogue par une turbine à gaz d'échappement fonctionnant parfaitement.

Propositions de discussion

Afin d'activer la discussion, qui est le but principal de cette réunion, nous résumons encore rapidement les problèmes qui se dégagent des rapports et du développement des moteurs:

1. La sûreté de fonctionnement des moteurs d'aviation est-elle actuellement suffisante pour le trafic aérien? Quelle confiance peut-on avoir dans les pièces des mécanismes, du graissage et de l'allumage?

2. Est-ce que le moteur Diesel pourra remplacer le moteur actuel à carburateur, sans imposer une augmentation notable du poids unitaire, et est-ce que le Diesel, plus sûr au point de vue du danger d'incendie, ne donne pas lieu à un danger de rupture à cause des efforts thermiques et mécaniques?

3. Est-ce que le moteur refroidi à l'air finira par vaincre complètement le moteur refroidi à l'eau, ou est-ce que, lorsque tous les perfectionnements seront introduits, chaque moteur aura son champ d'application, auquel il est particulièrement adapté (p. ex. vols à longue distance, puissance élevée pour moteurs à refroidissement indirect) ?

4. Pourra-t-on atteindre une réduction de la combustion par une plus grande compression préparatoire du fait qu'on ajoute des antidétonnants au combustible, ou est-ce que les inconvénients accompagnant l'usage des antidétonnants, p. ex. la toxicité du tétra-éthylène de plomb, la formation de particules solides par la carbonyle ferreux seront d'une importance telle qu'on ne pourra continuer dans cette voie ?

5. Peut-on augmenter le rendement économique du moteur d'aviation en prolongeant l'expansion ?

B. Moteurs d'automobiles

Dr. Heller

En plus des rapports sur les moteurs d'aviation, sur lesquels M le rapporteur général a donné un compte-rendu, les rapports suivants ont été présentés sur les moteurs d'automobiles.

Rapport No. 392: Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit des Transports mit Eisenbahn und Kraftwagen in Argentinien (Argentinien)
Dipl.-Ing. W. Wagner

Cette étude cherche à fixer les limites économiques de ces deux moyens de transport et à éviter par là une concurrence inutile. Elle se restreint à la plaine Argentine, qui recouvre environ les $^4/_5$ de cet Etat. Le calcul des frais de transport par automobile basé sur des chiffres fournis par deux entreprises argentines s'étend aux camions automobiles d'une tonne et demi ainsi qu'à ceux de cinq tonnes avec ou sans remorque sur routes argileuses en bon état et sur routes consolidées. Aux prix de revient ainsi obtenus qui contiennent les virements pour profits et frais d'administration sont ajoutés 10% du prix de revient. Ces résultats tiennent aussi compte des pertes de temps pendant la charge et la décharge et sont représentés dans le diagramme des frais de transport par tonne et en fonction de la distance. De la même façon les frais de transport par chemin de fer pour différents tarifs ou espèces de marchandises transportées sont portés sur un diagramme, de sorte que l'on peut, par superposition des diagrammes, se rendre compte des limites dans lesquelles ces deux moyens de transport peuvent être utilisés, étant donné que toutes les autres conditions sont les mêmes.

L'auteur montre en outre que l'influence du rechargement est en état de reculer les limites économiques des transports automobiles. Même en comparaison du transport par chemin de fer, le transport par automobile est économiquement avantageux dès qu'il s'agit de

3. Est-ce que le moteur refroidi à l'air finira par vaincre complètement le moteur refroidi à l'eau, ou est-ce que, lorsque tous les perfectionnements seront introduits, chaque moteur aura son champ d'application, auquel il est particulièrement adapté (p. ex. vols à longue distance, puissance élevée pour moteurs à refroidissement indirect) ?

4. Pourra-t-on atteindre une réduction de la combustion par une plus grande compression préparatoire du fait qu'on ajoute des antidétonnants au combustible, ou est-ce que les inconvénients accompagnant l'usage des antidétonnants, p. ex. la toxicité du tétra-éthylène de plomb, la formation de particules solides par la carbonyle ferreux seront d'une importance telle qu'on ne pourra continuer dans cette voie ?

5. Peut-on augmenter le rendement économique du moteur d'aviation en prolongeant l'expansion ?

B. Moteurs d'automobiles

Dr Heller

En plus des rapports sur les moteurs d'aviation, sur lesquels M le rapporteur général a donné un compte-rendu, les rapports suivants ont été présentés sur les moteurs d'automobiles.

Rapport No. 392: Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit des Transports mit Eisenbahn und Kraftwagen in Argentinien (Argentinien)
Dipl.-Ing. W. Wagner

Cette étude cherche à fixer les limites économiques de ces deux moyens de transport et à éviter par là une concurrence inutile. Elle se restreint à la plaine Argentine, qui recouvre environ les $^4/_5$ de cet Etat. Le calcul des frais de transport par automobile basé sur des chiffres fournis par deux entreprises argentines s'étend aux camions automobiles d'une tonne et demi ainsi qu'à ceux de cinq tonnes avec ou sans remorque sur routes argileuses en bon état et sur routes consolidées. Aux prix de revient ainsi obtenus qui contiennent les virements pour profits et frais d'administration sont ajoutés 10% du prix de revient. Ces résultats tiennent aussi compte des pertes de temps pendant la charge et la décharge et sont représentés dans le diagramme des frais de transport par tonne et en fonction de la distance. De la même façon les frais de transport par chemin de fer pour différents tarifs ou espèces de marchandises transportées sont portés sur un diagramme, de sorte que l'on peut, par superposition des diagrammes, se rendre compte des limites dans lesquelles ces deux moyens de transport peuvent être utilisés, étant donné que toutes les autres conditions sont les mêmes.

L'auteur montre en outre que l'influence du rechargement est en état de reculer les limites économiques des transports automobiles. Même en comparaison du transport par chemin de fer, le transport par automobile est économiquement avantageux dès qu'il s'agit de

trajets de 50 à 200 km pour les marchandises des classes de 1 à 10 ou pour des trajets de 20 à 50 km pour les marchandises des classes réduites.

Rapport No. 338: Erfahrungen mit Kraftgas aus Holz fur Automobile (Finnland)
Prof. H. Kyrklund

Les difficultés que présente l'alimentation des moteurs automobiles par les gaz provenant de combustibles solides étaient dues, au début, à l'inertie des systèmes de gazogènes et à l'impureté des gaz. Dans l'emploi du bois on pouvait limiter la température de combustion à un espace restreint, et vaincre par là en partie l'inertie de formation des gaz. Par l'emploi de gazogènes à contre-courant on a obtenu une décomposition des impuretés goudronneuses du gaz dans la zone de combustion. Presque tous les gazogènes employés sont construits d'après ce procédé.

Mr. le professeur *Kyrklund* a observé la façon dont les gazogènes d'après *Imbert, J. O Smith* et *Widegren* se comportent, lorsqu'ils fonctionnent au bois. Après ces observations il donne la préférence au charbon de bois. Les épreuves ont eu lieu au banc d'essai et sur de longs raids en colonne. Elles s'étendent sur la réduction de puissance vis-à-vis de l'alimentation par l'essence, le temps de mise en marche et les défectuosités de fonctionnement Les essais faits avec un moteur Chevrolet à 4 cylindres de 94 mm d'alésage et 102 mm de course, alimenté par les gaz tirés d'un bois de bouleau de 20 à 30% d'humidité, ont donné avec un degré de compression de 4,64, une réduction de puissance de 40% vis-à-vis de l'alimentation par essence. Avec un rapport de compression de 6,1 une réduction de puissance de 20% a été enrégistrée. A une consommation de bois de 1 kg correspond une consommation de 210 g d'essence. Les épreuves sur route ont donné des résultats encore plus favorables au point de vue de la consommation. Parmi les dérangements, nous pouvons citer la chute subite de puissance du moteur qui est due à ce que le gazogène Imbert ne comporte pas de grille, lorsque la couche de combustible réductrice est trop mince.

Dans les pays qui ne disposent pas de sources propres de combustibles liquides, les gazogènes ne sont pas seulement applicables à des automobiles. On peut aussi les utiliser favorablement sur des tracteurs, des rouleaux compresseurs, des bateaux et dans des installations fixes.

Rapport No. 352: Note sur l'influence, sur la construction française du moteur d'automobile, des taxes perçues sur les véhicules automobiles (France)
H Dauvergne

Par la formule d'impôts appliquée en France en 1908, qui fixait la puissance du moteur proportionellement à une puissance de son alésage, les constructeurs français ont été amenés à augmenter la course ou le régime de rotation afin d'obtenir une puissance plus grande sans augmenter la taxe fiscale. Afin de parer à cette situation, une nouvelle taxe

fut instituée en 1913, qui, pour fixer la puissance du moteur, tient compte de l'alésage, de la course et de la vitesse de rotation Cette formule semble, tout d'abord, n'avoir exercé aucune influence sur la construction des moteurs. Pourtant on s'aperçut bientôt, qu'il est excessivement difficile de déterminer exactement la vitesse de rotation, dont on a besoin pour l'application de cette formule. Pour cette raison, on emploie dans cette formule depuis le 11 avril 1927 un régime constant de 30 tours/sec pour les moteurs à quatre temps et à grande vitesse — et de 20 tours/sec pour les moteurs lents à quatre temps.

Le résultat de cette dernière mesure fut que l'on construisit des moteurs à grande vitesse de rotation (jusqu'à 5000 tours par minute). Ce développement amena des perfectionnements importants dans la construction et les matériaux. Cependant, on s'aperçut bientôt que ces grandes vitesses sont dangereuses pour la durée d'existence et défavorables à la marche silencieuse des moteurs. La préférence de l'acheteur pour les voitures américaines montra qu'on n'attachait plus la même importance à la taxe qu'auparavant. Les constructeurs français sont revenus maintenant aux moteurs à cylindrée plus grande et à régime plus lent et l'on ne remarque plus aujourd'hui aucune influence de la formule d'impôts sur la construction des moteurs automobiles.

M. Dauvergne montre dans un tableau numérique que de 1908 jusqu'à 1929, pour des moteurs de même taxe, l'alésage n'a pas notablement varié, mais que, par contre, la course s'est allongée sensiblement en se basant sur l'évolution des moteurs fabriqués par plusieurs usines importantes françaises

Rapport No. 407 Verbrennungskraftmaschinen in der Tschechoslowakei (Tschechoslowakei)
Prof. Dr.-Ing. K. Körner

A l'exception de l'automobilisme et de l'aviation les conditions d'utilisation des moteurs à combustion interne sont, en Tchécoslovaquie, plus défavorables que pour les machines à vapeur. La cause en est le manque de laboratoires, de techniciens et de capitaux. L'automobilisme a pris, par contre, une très grande extension. Actuellement on construit déjà plus de 20000 automobiles par an dans ce pays. Très remarquables sont les voitures *Tatra* à quatre places, qui pèsent à vide 800 kg et dont le moteur à deux cylindres est refroidi par l'air. La consommation sur route est de 8 à 10 litres aux 100 km. Les moteurs de la maison *Českomorawskă-Kolben-Daněk* sont munis de dispositifs spéciaux qui assurent le graissage des paliers. Les usines *Skoda*, *Českomorawskă-Kolben-Daněk* et *Walter* construisent leurs propres modèles de moteurs d'aviation. Il faut aussi attirer l'attention sur les moteurs *Diesel* à cylindres horizontaux des usines *Skoda*

Développement

Le problème le plus actuel dans le domaine de la circulation automobile est certainement le classement économique de ce nouveau moyen de transport parmi ceux déjà existants. Pour se faire une idée de

l'importance que cette question possède pour le monde technique, il suffit de se représenter que les 30 millions d'automobiles qui roulent sur les routes mondiales ont une puissance totale d'environ 600 millions CV et que la circulation routière n'a fait depuis l'invention de la locomotive, c'est à dire depuis plus de cent ans, presque aucun progrès, surtout aucun progrès concernant le transport mécanique.

On peut admettre que la solution de ce problème dépendra de la situation économique des divers pays et du développement de la circulation automobile dans ces Etats. Un délai plus ou moins long sera naturellement nécessaire pour trouver la solution la plus économique On peut, cependant, déjà prévoir que le classement de l'automobile parmi les moyens de transport déjà existants ne pourra être réalisé que lorsque la circulation automobile pourra fournir elle-même les capitaux nécessaires à l'amélioration des routes. Ici la question de l'imposition des automobiles et de la forme qu'elle prendra (impôt sur le permis de circulation, impôt sur l'essence — ou une combinaison des deux précédents) prend un intérêt capital.

En ce qui concerne les moteurs, une question très importante et qui intéressera vivement les techniciens de demain est le ravitaillement du nombre chaque jour croissant d'autos avec des quantités suffisantes de combustible approprié. Si cette question est surtout une question d'approvisionnement en carburants très volatils, dans laquelle, l'industrie des huiles minérales et la synthèse chimique jouent un rôle préponderant, les résultats déjà obtenus avec les moteurs *Diesel* pour véhicules font prévoir une révolution très prochaine dans le ravitaillement général des véhicules, révolution qui donnera aux huiles lourdes la place prépondérante parmi les combustibles employés.

Indépendamment des combustibles liquides minéraux, d'autres, d'origine végétale ont également une grande importance. Un groupe d'experts affirme que les quantités d'alcool tirées de la lessive de cellulose suffiraient en grande partie aux besoins de la circulation automobile. De plus, dans les contrées possédant des bois bon marché ou des charbons de formation récente l'alimentation des automobiles au moyen de gaz de gazogène tiré de ces combustibles présente de grands avantages économiques.

Une tâche importante de la technique moderne, par conséquent aussi de la *Conférence Mondiale de l'Energie,* consiste à faire connaître les avantages économiques de la circulation automobile dans les pays en train d'organiser ou de développer leur réseau routier. L'automobile peut permettre d'éviter dans cette tâche les fautes qui, dans d'autres pays à circulation plus ancienne, par suite du progrès rapide de la technique, n'ont pu être évitées.

Propositions de discussion

1. Propositions pour le classement économique de la circulation automobile dans la série des moyens de transport déjà existants.

2. Expériences sur l'avantage économique de l'utilisation des combustibles solides par les automobiles.

Diskussionsbericht

Flugzeug- und Fahrzeugmotoren

Ministerialdirigent Dr.-Ing. Brandenburg und Dr. Heller

An der Diskussion nahmen die folgenden 12 Herren teil:

Fieber, C. A., Ing., Dir. Grazer Waggon- und Maschinenfabrik A. G., Graz, Annenstr 24,
Herzfeld, A. A., Dr.-Ing., Vacuum Oil Co, Wien XX, Treustr. 33
Hubendick, E., Prof. Kgl. Techn. Hochschule, Saltsjo-Storängen.
Körner, K., Dr.-Ing., Prof. Deutsche Techn. Hochschule Prag, Prag I, Konviktska 22.
Kurtz, O., Dipl.-Ing., Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V., Berlin SO 36, Schmollerstr. 10a.
Löhner, K, Dipl.-Ing., Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V, Berlin-Adlershof, Volkswohlstr. 72.
Lomonossoff, G., Prof. Dr.-Ing., Adresse: Ing. *S. Machoff*, Berlin-Wilmersdorf, Weimarische Str. 5.
Noeggerath, I. E., Dr.-Ing, Berat.-Ing., Berlin W 62, Burggrafenstr. 12.
Ramsin, L K., Prof., Wärmetechn. Institut, Moskau 68.
Schlesinger, J. H, Dipl.-Ing., Ganz & Co.-Danubius, A.G., Budapest, Simor utca 10.
Seyerle, W., Dr.-Ing, Deutsche Versuchsanstalt fur Luftfahrt E. V., Berlin-Adlershof, Kaiser Friedrich Str. 35.
Shiba, Baron *C.*, Dr.-Ing. Dir. Aeronautic Research Institut, Komaba, Tokio.

Die Aussprache in der Fachsitzung Section 30 bewegte sich fast vollständig auf Gebieten, die abseits von den Anregungen der Generalberichterstatter lagen. Im Nachstehenden sind daher die Beiträge zur Aussprache ohne Rücksicht auf die Reihenfolge der Redner so wiedergegeben, daß von den mehr allgemeine Fragen behandelnden Beiträgen, auf die eingegangen wird, welche sich auf besondere Fragen beziehen

Ramsin-Rußland wies an der Hand der Zahlen des russischen Fünfjahrplanes auf den großen energiewirtschaftlichen Vorteil des Betriebes von Kraftschleppern mit Rohöl anstatt mit Benzin hin, das durch Destillation oder durch Kracken gewonnen werden muß und dessen Gewinnung daher große Verluste an Rohöl bedingt Bei einer Gesamtleistung von 18 Mill. PS oder 36 Mia. PSh im Jahre betrage der Gesamtbedarf an Benzin etwa 12 Mill. t, wozu rd 22 Mill t Masut für Rohstoffe notwendig seien. Bei Verwendung schnellaufender Dieselmotoren fur den Betrieb der Schlepper könnte man dagegen unter Berucksichtigung des gunstigeren Wirkungsgrades mit einem Jahresverbrauch von 8 Mill. t auskommen, was fast ein Drittel des Verbrauches bei Benzinbetrieb ergabe. Unter Berücksichtigung der Preisverhältnisse würden sich die jahrlichen Brennstoffkosten bei Verwendung

von Dieselmotoren sogar nur auf ein Sechstel des Betrages belaufen, der bei Verwendung von Benzinmotoren notwendig wäre.

Für den Antrieb von Kraftschleppern kommt ferner auch Gas in Betracht, das in Generatoren aus Stroh erzeugt werden könnte. Schlepper von der oben angegebenen Jahresleistung würden nicht mehr als 12% der Strohmenge verbrauchen, die mit Hilfe der Schlepper geerntet werden konnte. Selbst Dampfschlepper würden nicht mehr als 30% des geernteten Strohes verbrauchen. Obgleich zur Zeit die Versuche in der Richtung der unmittelbaren Vergasung von Stroh betrieben werden, könnte man auch Briketts ohne Bindemittel aus Stroh erzeugen.

Fieber-Österreich wies auf die Nachteile der mit hohen Drücken arbeitenden Fahrzeugdieselmotoren in bezug auf Gewicht und Preis hin, die durch das Niederdruckverfahren mit Strahlzerstäubung nach Hesselman vermieden werden. Bei diesem Verfahren könne man Dieseltreiböl in kleinen schnellaufenden Motoren bei nur 7 bis 9 at Verdichtungs- und 24 bis 26 at Höchstdruck bei Vollast und bei Leerlauf verbrennen. Der Motor verdichtet reine Luft wie die Dieselmaschine und übernimmt von dem Vergasermotor die elektrische Zündung der brennfertigen Ladung sowie das Triebwerk. Eine Pumpe mit Kugelventilen und veränderlichem Hub spritzt den Brennstoff senkrecht zur Achse des Zylinders in den scheibenförmigen Brennraum unter mäßigem Druck. Der Kolben trägt einen Schirm, der das Auftreffen von Brennstoff auf die Zylinderlauffläche verhindert. Die Düse und die gegenüberliegende Zündkerze, die aber nicht von dem Brennstoffstrahl getroffen wird, ragen durch Schlitze dieses Schirmes in den Brennraum hinein. Die Luftzufuhr wird selbsttätig in Abhängigkeit von Füllung und Drehzahl geregelt. Nach diesem Verfahren umgebaute Vergasermotoren von 89 bis 110 mm Zyl.-Dmr und 130 bis 180 mm Hub ergaben bei 400 bis 2400 U/min mittlere Arbeitsdrücke bis zu 7,2 at bei günstigem Verlauf von Drehmoment und Brennstoffverbrauch. Die Ersparnis im Brennstoffvolumen gegenüber gleichartigen Vergasermaschinen betrug im Mittel 30%.

Schlesinger-Ungarn bezeichnete die Verwendung eines Zündapparates beim Hesselman-Motor als einen Nachteil gegenüber den Dieselmotoren. Die Vermeidung der Drücke von 35 at bis 40 at, die man leicht beherrschen könne, sei nicht so wichtig, daß man deshalb den Zündapparat wieder in den Kauf nehmen müßte.

Redner wies dann auf die Bedeutung hin, die der Verwendung des rasch laufenden Verbrennungsmotors für Eisenbahntriebwagen zukommt. Eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg des Verbrennungsmotors auf diesem Gebiet ist, daß Organisationen geschaffen werden, die ermöglichen, solche Motoren sachkundig zu pflegen und instand zu halten. In vorbildlicher Weise sei dies den Königl. Ungarischen Staatsbahnen in dem Eisenbahnknotenpunkt Szentes gelungen, in dem mehrere für den Motorwagenbetrieb besonders geeignete Nebenbahnlinien zusammenlaufen. Die Triebwagen haben auf diesen Linien den Personenverkehr vollständig übernommen, der sich innerhalb von 2 Jahren um 65% gehoben hat.

Auf Grund von Erfahrungen aus dem Betrieb der neuesten Zeit wird mitgeteilt, daß ein Eisenbahntriebwagen mit 110 PS-Dieselmotor, nach Ganz-Jendrassik der im Bericht Nr. 291 beschriebenen Bauart im Mittel 0,338 kg Rohol auf 1 Zugkilometer verbraucht hat, wahrend der Verbrauch der Triebwagen mit 90 PS-Benzolmotoren rund 0,4 kg betragt

Hubendick-Schweden wies zunachst auf die Bedeutung der Verwendung des Alkohols fur die Gewinnung von klopffestem Brennstoff zum Betrieb von Fahrzeugmotoren hin, worüber langjährige zufriedenstellende Erfahrungen in Schweden vorliegen

Als ein weiteres Mittel zur Verminderung der Brennstoffkosten ist die Verwendung von Gasol in Dieselmotoren zu nennen. Die hierbei auftretenden hohen Arbeitsdrücke lassen sich bei dem neuerdings von Hesselman entwickelten Niederdruckmotor vermeiden. Mit etwa 8 at Verdichtungsdruck erreicht dieser Motor 30 at Höchstdruck, 7,2 at mittleren nutzbaren Kolbendruck und 30% Wirkungsgrad, d. h. etwa dieselben Werte, die beim Dieselmotor mit 40 at Verdichtungsdruck und 60 at Höchstdruck erreicht werden. Besonders wird auf die geringere Feuergefährlichkeit des Rohols hingewiesen, die ermöglichen würde, die geltenden Vorschriften fur Garagen zu mildern

Die Bedeutung der durch das Niederdruckverfahren erreichbaren Verminderung des Motorgewichts kommt besonders in Betracht, wenn man dazu ubergehen will, solche Motoren auch in Personenkraftwagen zu verwenden. Es wird interessant sein, in der nachsten Zeit abzuwarten, wie die Technik über dieses Verfahren urteilt.

Shiba-Japan berichtete über neue Einrichtungen, die in dem von ihm geleiteten Aeronautic Research Institute geschaffen wurden, namentlich eine Bombe mit Schaufenster und eine photographische Kammer für 50000 Aufnahmen in der Sekunde. Diese Einrichtungen sollen fur Forschungen uber die Arbeitsweise von Brennstoffdüsen und Pumpen für schnellaufende Dieselmotoren verwendet werden Redner ist der Ansicht, daß nur solche Forschungen zur Losung der Probleme des schnelllaufenden Dieselmotors beitragen konnen.

Noeggerath-Deutschland wies auf den Verbrennungsmotor mit veranderlichem toten Raum nach Schweter hin, der auch mit dem inzwischen zur Tatsache gewordenen Wasserstoff- und Knallgasmotor eine erhöhte Möglichkeit der Speicherung elektrischer Energie bedeute. Die bei Fahrzeugmotoren, insbesondere für Lokomotiven notwendige Regelung auf gleichbleibende Leistung bei veranderlicher Drehzahl konne man durch Verwendung von Kolben mit federnd nachgiebigem Boden verwirklichen Dadurch soll es moglich sein, das Drehmoment um 50 bis 100% zu steigern

Korner-Tschechoslowakei schlug vor, die Moglichkeit der Erhohung der Klopffestigkeit von Brennstoffen durch Zusatze von harzsauren Salzen zu prufen. Er teilte auch mit, daß ahnliche Brennstoffeinspritzungen wie beim Motor von Jendrassik in seinem Laboratorium untersucht werden und machte auf das D R P 492918 von Dr -Ing Kransling aufmerksam. Das späte Öffnen des Einlaßventils wirke durch Ver-

wendung der Massenwirkung der Luft im Saugrohr, auch sei der Wärmeübergang während dieser Zeit veränderlich.

Herzfeld-Österreich wies auf die Unzulässigkeit der Errechnung der Verbrennungsdrucke und Verbrennungstemperaturen unter der Annahme augenblicklicher Verbrennung im oberen Totpunkt hin. Außer vielem anderen enthalte diese Berechnungsweise den Fehler, daß der Einfluß der Restgase nicht erfaßt werde. Er bezweifelt, daß bei Benzin höhere Spitzendrücke als bei Benzol oder Alkoholmischungen auftreten und führt die Schwierigkeiten mit Kerzen und Kolben auf das Auftreten von Temperaturspitzen zurück. Verdichtungsgrade von 1·7 würden auch bei Benzolbetrieb zu rauhen Gang hervorrufen, die Grenze für Personenwagen liege bei 1:6,5 Redner ging dann auf die Ursachen des rauhen Ganges nach seiner Meinung und nach der Meinung anderer näher ein. Ein Ausschuß von Wissenschaft, Erzeugern und Verbrauchern bearbeite zur Zeit in Österreich die Normung der Untersuchungsmethoden für Brennstoffe.

Lomonossoff-Rußland glaubt, daß den Schlüssel für die Lösung der Diesellokomotive nicht die Kraftübertragung bilde, sondern der Motor. Für europäische Verhältnisse brauche man Lokomotiven von 2000 PS, für amerikanische solche von 4000 PS Da man auf einem Fahrzeug nicht mehr als 2400 PS an Dieselmotorleistung unterbringen könne, so müsse eine Diesellokomotive, die den Wettbewerb mit der neuzeitlichen Dampflokomotive aufnehmen soll, in Europa aus einem Fahrzeug, in Amerika aus zwei Fahrzeugen bestehen. In beiden Fällen betrage die Bremsleistung des Motors 2400 PS Unter Berücksichtigung der zulässigen Achslast, die in Amerika 40, in Europa 33 t betrage, müsse man verlangen, daß der Dieselmotor 200—400 PS in einem Zylinder entwickeln und etwa 14 kg/PS wiegen müsse.

Solche Dieselmotoren sind aber heute noch nicht vorhanden. Die Viertaktmotoren, Bauart Ingersoll-Rand, auf 40 von den 47 amerikanischen Diesellokomotiven, leisten nur 50 PS in einem Zylinder, die Zweitaktmaschine von Knudsen, auf der ersten Diesellokomotive von Baldwin 70 PS. Der Kruppmotor der zweiten Baldwin-Diesellokomotive leiste 160 PS in einem Zylinder. Die Verbrennung sei gut, doch sei die Bauart des Ladegebläses für den Verschiebedienst nicht ausreichend zuverlässig. Die Beardmore-Motoren auf den Kanadischen Bahnen leisten nur 110 PS in einem Zylinder, die Viertaktmotoren der MAN auf russischen und deutschen Diesellokomotiven nur 200 PS in einem Zylinder, bei einem Gewicht von 23 kg/PS. Der Entwurf eines Zweitakt-Motors für Lokomotiven sei schwierig Für amerikanische Verhältnisse seien Zweitakt-Motoren erwünscht. Das Problem sei, gute Spülung und Verbrennung zu erhalten. Hierzu werden weitere Forschungen notwendig sein.

Kurtz-Deutschland bemerkt zu der Frage, ob die Betriebssicherheit der Flugmotoren für den Verkehrsflug ausreichend sei und wie die Zuverlässigkeit der Triebwerkteile beurteilt wird, daß die Betriebssicherheit der Flugmotoren für den Verkehrsflug heute, von besonderen Fällen abgesehen (Langstreckenflüge, Luftschiff-Fernfahrten), im all-

gemeinen noch nicht befriedige. Bei den meisten Motoren betragen die Betriebszeiten zwischen 2 Überholungen etwa 150—250 Stunden, bei besonders zuverlässigen 300—350 Stunden. Vielfach wird die untere Grenze dieser Betriebsstundenzahlen infolge von Bruchen und Störungen an Triebwerksteilen nicht erreicht. Für eine wirtschaftliche und betriebssichere Gestaltung des Verkehrsfluges ist eine Erhöhung der Betriebszeiten auf etwa 1000 Stunden, besonders im Hinblick auf den Fernflug, anzustreben. Die Ursache der noch nicht ausreichenden Betriebssicherheit liegt in den zu hohen thermischen und mechanischen Betriebsbeanspruchungen der Motoren, die im Dauerbetrieb meist mit dem 0,7- 0,8fachen Betrag ihrer Spitzenleistung belastet sind.

Eine sichere Vorausberechnung der Betriebsbeanspruchungen ist heute noch nicht möglich, doch als Forschungsziel anzustreben. Der im Generalbericht erwähnte Vorschlag von Kamm, die Motoren in längeren Prüfläufen mit Spitzenleistung zu prüfen und im Dauerbetrieb nur mit dem 0,5fachen Betrag der Spitzenleistung zu belasten, ist geeignet, die Betriebssicherheit der Motoren zu erhöhen. Ein Beispiel für ein solches Verfahren ist der Rolls-Royce-H-Motor, der bei einer Spitzenleistung von 1900 PS (Schneider-Preis) mit einer Dauerleistung von 825 PS verkauft wird. Aerodynamische Verfeinerungen der Flugzeuge und die Verbesserung der Luftschrauben-Wirkungsgrade durch Wahl richtiger Untersetzungsverhaltnisse sind weitere Mittel, um die Motoren im Dauerbetrieb niedriger zu beanspruchen.

Lohner-Deutschland nimmt zu der Frage, ob die Wirtschaftlichkeit des Flugmotors durch verlängerte Dehnung noch gesteigert werden kann, folgende Stellung: Auf Grund eingehender Untersuchungen kann der Brennstoffverbrauch durch Verlängerung des Dehnungshubes gegenüber dem Verdichtungshub bei Erhaltung des Verdichtungsverhaltnisses bis um 10% herabgesetzt werden. Das ergibt bei den heute üblichen Verdichtungsverhältnissen Brennstoffverbrauchszahlen von 180 bis 210 g/PSh. Allerdings steigt dabei das Gewicht des Motors auf die Leistung bezogen um etwa 20%. Redner bespricht dann die Moglichkeit, den Brennstoffverbrauch vor allem im Reiseflug bei verminderter Last dadurch herabzusetzen, daß im Bereich höherer Drehmomente statt der Drosselregelung Gemischregelung angewendet wird. Zum Ausgleich der mit dem Luftuberschuß abnehmenden Verbrennungsgeschwindigkeit wird die Vorwärmung vermehrt. Bei Abnahme der Belastung eines Flugmotors mit 10 at mittl. eff. Druck um 20% beträgt der Unterschied im Brennstoffverbrauch zwischen einem mit Drosselregelung und einem mit Gemischregelung und Vorwarmung arbeitenden Motor etwa 4% Durch die vermehrte Vorwärmung wird die Gemischverteilung verbessert. Ein sehr wesentlicher Gesichtspunkt ist ferner, daß auch die thermische Belastung eines Motors mit Gemischregelung kleiner ist, als die eines Motors mit Drosselregelung

Seyerle-Deutschland: Die Betriebssicherheit der heutigen Vergasermotoren hat sich als noch unbefriedigend erwiesen Dies rührt in der Hauptsache davon her, daß die Grenzbeanspruchung der einzelnen Triebwerksteile noch nicht genügend bekannt ist.

Beim Vergasermotor erreichen Kolbenringe, Auspuffventil, Ventilführungen, Zündkerzen, Lager, Zündapparate, Zylinderkopf, Anlenkpleuel und Kurbelzapfenbolzen Lebensdauerzahlen, die zwischen 200 und 1000 liegen. Alle anderen Teile lassen sich heute schon mit Werten für die Lebensdauer von über 1000 Betriebsstunden herstellen. Beim Dieselmotor fallen vor allen Dingen die Zündkerzen als Störungsquelle fort. Der Dieselmotor vermeidet bei ungefähr gleichen mechanischen Belastungen und etwas niedrigeren thermischen Belastungen als beim Vergasermotor eine Reihe dieser Störungsquellen.

Besondere Brennstoffpumpen für jeden Zylinder erhöhen die Sicherheit. Dieser Vorteil ist beim Vergasermotor nur mit mehreren Vergasern möglich. Da in jedem Zylinder meist 2 bis 4 Brennstoffdüsen angebracht sind, ist der Ausfall einer Düse unbedeutend. Die Brennstoffpumpen und -düsen haben eine hohe Güte der Herstellung bereits erreicht. Das System der flüssigen Brennstoffeinführung bringt infolge seiner Einfachheit große Vorteile. Infolge der schon jetzt weitgetriebenen Herstellung durch Spezialfabriken ist der Preis dieser Teile außerordentlich niedrig. Die Düsen müssen jedoch nach 250 bis 500 h nachgesehen werden und die Ölkohle an den Düsenspitzen, wenn erforderlich, entfernt werden

Leckage-Verluste durch feine Spalten und Undichtigkeiten sind beim Ölmotor geringer als beim Benzinmotor, weil das Öl eine größere Zähigkeit besitzt Zusammen mit der geringen Entflammbarkeit des Öles ergibt sich eine verringerte Feuersgefahr. Beim Zweitaktmotor ergeben sich weitere Vorteile durch Fortfall der Ventile und durch den in seiner Gestaltung günstigeren Zylinderkopf

Die Spülluft- und Überladegebläse der Zweitaktölmotoren können mit derselben Lebensdauer und Betriebssicherheit heute gebaut werden wie die übersetzten Zentrifugal-Misch- und Überladegebläse, wie sie jetzt in manchen Vergasermaschinen angewandt werden. Es ist ersichtlich, daß die Zweitaktölmaschine hinsichtlich der Betriebssicherheit der Triebwerksteile große Verkehrssicherheit bringen kann.

Gesamtergebnis der Diskussion

Die gesamte Aussprache dieser Fachsitzung spiegelt die Bedeutung des Brennstoffproblems für die weitere Entwicklung der Flugzeug- und Fahrzeugmotoren wider. Die Bestrebungen, die Leichtbrennstoffe, die früher ausschließlich für diese Zwecke in Betracht kamen, durch schwere Brennstoffe zu ersetzen, die billiger und weniger feuergefährlich sind und gegebenenfalls auch aus inländischen Rohstoffen gewonnen werden können, sind schon sehr weit fortgeschritten. Allerdings wird es noch weiterer Forschungen bedürfen, bevor man entscheiden kann, welches Arbeitsverfahren des Motors sich für solche Brennstoffe am besten eignet. Die Entwicklung solcher Motoren dürfte auch die Verwendung des Verbrennungsmotors im Eisenbahnverkehr für Triebwagen und Lokomotiven fördern.

Result of Discussion

The discussion throughout reflected the importance of the fuel problem for the future development of aircraft and vehicle motors. Great success can be already recorded on behalf of the efforts to replace the light fuels as formerly used exclusively for the purpose by heavy fuels that are cheaper and have less fire-hazard and may eventually be derived from native raw materials. Further research will be necessary, it is thought, before a verdict can be passed on the mode of operation of motors best suited for such fuels. Evolution of these motors seems likely to also promote the application of the internal combustion engine to motor coaches and locomotives in railway service.

Résultat de la discussion

Toute la discussion de la séance de cette section réflète l'importance du problème des combustibles pour le développement futur des moteurs d'avions et d'automobiles. Les efforts faits pour remplacer les combustibles légers, qui venaient autrefois seuls en ligne de compte pour ces buts, par des combustibles lourds plus avantageux, présentant moins de danger d'incendie et pouvant être obtenus en partant de matières premières indigènes, sont déjà très avancés À la vérité, il faudra encore des recherches ultérieures avant de pouvoir dire quel genre de travail du moteur convient le mieux lors d'utilisation de ces combustibles Le développement de ces moteurs pourra favoriser aussi l'emploi de moteurs à combustion pour les automotrices et les locomotives du trafic ferroviaire

3626

Spamersche Buchdruckerei in Leipzig